



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NÁVRH ŘEŠENÍ PRO ŘÍZENÍ TECHNOLOGIÍ
STÁVAJÍCÍCH BUDOV**

DESIGN SOLUTION FOR THE CONTROL OF EXISTING BUILDINGS TECHNOLOGIES

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Štěpán Neminář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Štěpán Neminář**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Technika prostředí
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Hejčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Návrh řešení pro řízení technologií stávajících budov

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Většina nově stavěných budov, jakými jsou např. administrativní budovy, průmyslové podniky, hotely atd., obsahuje nějaký systém MaR pro řízení jednotlivých technologií, resp. pro jejich komplexní a provázané řízení často doplněno též centrálním BMS systémem. Implementovat takovéto systémy, které zahrnují řadu rozvaděčů s řídicími prvky, periferie a značné množství kabeláže, do nových objektů není problém, protože jsou často řešeny již v rámci projektu v kooperaci s jednotlivými projektanty řízených technologií (vytápění, chlazení, vzduchotechniky, osvětlení, zastínění apod.). Takováto v současné době většinově používaná řešení nejsou však příliš vhodná pro nasazení do stávajících objektů, kterých je drtivá většina, pouze v případě rozsáhlejších přestaveb. Dnešní trh však již nabízí řadu spolehlivých bezdrátových technologií, které mohou pro takovéto případy být vhodným řešením.

Cíle diplomové práce:

Cílem práce je návrh možného řešení implementace technologie řízení do vytípaného stávajícího objektu neobsahující žádný centrální systém MaR resp. BMS. Řešení by mělo pokrýt především řízení energeticky náročných procesů, jako jsou vytápění, chlazení, popř. osvětlení a posouzení přínosu takového řešení v kontextu ekonomiky, úspor a kvality vnitřního prostředí.

Seznam doporučené literatury:

PUKŮTE, Iveta a Ineta GEIPELE. Different Approaches to Building Management and Maintenance Meaning Explanation. Procedia Engineering [online]. Elsevier, 2017, 172, 905-912 [cit. 2018-10-26]. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.02.099. ISSN 1877-7058.

KUNICKÝ, Daniel. Řídící systém budov. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016, 48 listů : ilustrace + 1 CD-ROM.

YU, Jaehak, Marie KIM, Hyo-Chan BANG, Sang-Hyun BAE a Se-Jin KIM. IoT as a applications: cloud-based building management systems for the internet of things. Multimedia Tools and Applications [online]. New York: Springer US, 2016, 75(22), 14583-14596 [cit. 2018-10-26]. DOI: 10.1007/s11042-015-2785-0. ISSN 1380-7501.

ŠPAČEK, Jan, Hana SVOBODOVÁ a Zuzana ŠILLEROVÁ. Energetický management v administrativních budovách. Energetický management v administrativních budovách [online]. Vysoká škola ekonomická v Praze [cit. 2018-10-26].

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

.....
doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

.....
doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá návrhem bezdrátového řešení měření a regulace pro stávající budovy. V první části jsou popsány topologie a komunikační protokoly používané pro bezdrátovou automatizaci. Následně jsou charakterizována zařízení pro jednotlivé regulovatelné technologie, která jsou později použita pro modelový návrh budovy, ve kterém je představen systém OpenHAB. Práce pokračuje popisem konkrétního objektu a jeho typického provozu, pro který je navržena základní a rozšířená varianta řízení. Na tuto část navazují výpočty energetické náročnosti v programu TRNSYS, pomocí nichž je na závěr spočítaná návratnost obou variant.

Klíčová slova

Bezdrátová automatizace, systém řízení budov, ZigBee, MQTT, OpenHAB, TRNSYS

Abstract

This master's thesis is dealing with designing wireless management system for existing buildings. In the first part there is description of topologies a communication protocols used for wireless automation. Further there are characterized some devices for lighting, heating, ventilation and cooling regulation. These are used for a model network of a building management, where is system OpenHAB also presented. In the next chapter is aprissed specific edifice and its typical operation where is also designed basic and extended solution for it. This part continues with computation of energy consumption in TRNSYS software, that are used to calculate economic return for both variants.

Key words

Wireless automation, building management system, ZigBee, MQTT, OpenHAB, TRNSYS

Bibliografická citace

NEMINÁŘ, Štěpán. *Návrh řešení pro řízení technologií stávajících budov*. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117184>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jiří Hejčík.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Návrh řešení pro řízení technologií stávajících budov* vypracoval samostatně na základě použité literatury uvedené v seznamu použitých zdrojů.

V Brně, dne 24. 5. 2019

Podpis

Obsah

Úvod.....	15
1 Bezdrátová automatizace budov	17
1.1 Uspořádání sítě.....	18
1.1.1 Star	18
1.1.2 Tree	18
1.1.3 Mesh.....	18
1.1.4 Srovnání	19
1.2 Komunikační standardy	19
1.2.1 ZigBee.....	19
1.2.2 Z-Wave	21
1.2.3 EnOcean.....	21
1.2.4 Loxone Air	22
1.2.5 MQTT	22
2 Možnosti měření a regulace	23
2.1 Měření	23
2.1.1 Měření teploty.....	23
2.1.2 Kvality vzduchu	23
2.1.3 Intenzity světla.....	24
2.1.4 Pohybu	25
2.1.5 Spotřeby energie	25
2.2 Vytápění	26
2.2.1 Regulace zdroje tepla.....	26
2.2.2 Regulace radiátoru	27
2.3 Osvětlení	27
2.3.1 Chytrá žárovka.....	28
2.3.2 Vypínač – stmívač	28
2.4 Větrání.....	29
2.4.1 Otevírání oken elektromotorem	29
2.4.2 Řízení přívodu vzduchu ze vzduchotechnického kanálu	30
2.5 Chlazení.....	31
2.5.1 Infračervený ovladač.....	32
2.5.2 Wifi adaptér	32
2.6 Řídící členy	32
2.6.1 Samsung Smarthings Hub.....	33
2.6.2 Schneider Electric MPM.....	33
2.6.3 OpenHAB	33

3	Modelový návrh	35
3.1	Řešení pro celou budovu	35
3.1.1	Zařízení pro správu budovy.....	36
4	Návrh řešení pro konkrétní budovu.....	38
4.1	Charakteristika provozu.....	39
4.1.1	Osvětlení.....	40
4.1.2	Vytápění	40
4.1.3	Chlazení.....	42
4.2	Energetická náročnost.....	42
4.2.1	Spotřeba energií dle vyúčtování	43
4.2.2	Spotřeba energií dle programu Transys	44
4.3	Návrh řešení.....	47
4.3.1	Základní varianta.....	47
4.3.2	Rozšířená varianta	50
4.3.3	Rozdíl oproti současnosti	51
4.4	Výpočet úspor navržených řešení a návratnosti investice	57
4.4.1	Základní varianta.....	57
4.4.2	Rozšířená varianta	58
4.4.3	Srovnání variant	59
	Závěr.....	61
	Seznam použitých zdrojů	63
	Seznam použitých zkratk.....	66
	Seznam použitých obrázků.....	67
	Seznam použitých tabulek.....	68
	Seznam příloh.....	69

Úvod

Dle výzkumu ENERGY STAR® (organizace poskytující informace pro spotřebitele a obchodníky) je v průměru 30 % energie v komerčních budovách využito neefektivně [1]. Tomuto plýtvání se dá zabránit pomocí automatizace a mít tak pod kontrolou spotřebu energií v budově. V případě nových nebo nově zrekonstruovaných staveb se už s elektroinstalací pro správu počítá již v projektu. To neplatí u starších, a hlavně menších, objektů, kde taková investice může představovat neúnosnou zátěž nebo z hlediska památkové hodnoty je zásah do konstrukce nepřípustný. Neplatí to však pro bezdrátovou technologii. Použitím takového řešení se ušetří nejenom za energie, ale také za elektroinstalaci. Tím se tedy snižuje návratnost investice a je možné systém řízení technologií implementovat i do menších objektů.

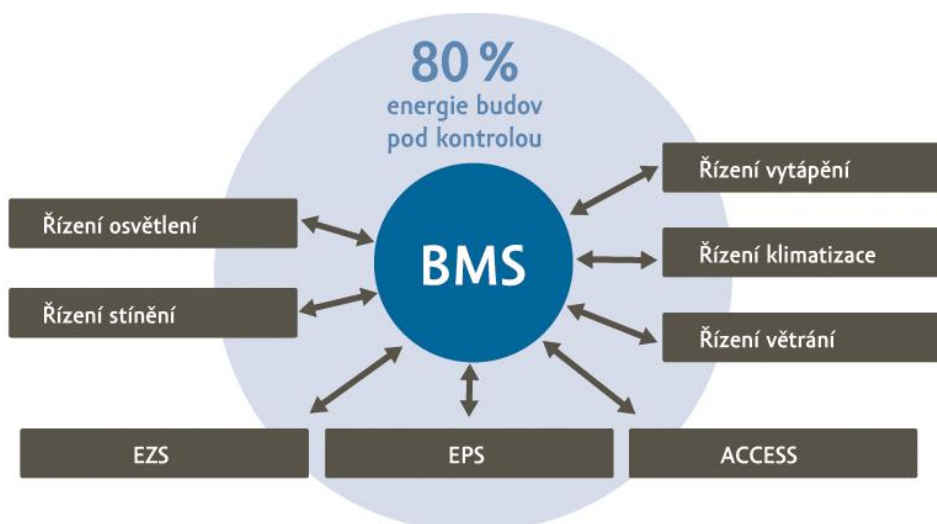
Celý segment, ze široka označovaný jako internet věcí (IoT), se rozšířil nejenom díky známým technologiím jako jsou wifi a Bluetooth. Zasluhu na tom mají i standardizované protokoly ZigBee a Z-Wave, které nemají vysoké energetické nároky na komunikaci, a právě proto se hodí pro systémy řízení budov. Na trhu je již nepřehledné množství těchto standardy podporovaných měřicích senzorů a komponentů ovládajících vytápění, větrání i osvětlení, tudíž je možno navrhnout řízení všech technologií pouze bezdrátově. Největší výzvou pak zůstává vytvoření komunikace mezi řídicími zařízeními a periferní úrovní.

Cílem diplomové práce je navrhnout řešení řízení budov a zvolit co nejjednodušší metody instalace zařízení pro vybraný objekt. Další z cílů je posouzení úspor, zejména za vytápění a osvětlení. Téma diplomové práce pobírá široké spektrum využití, jak v nebytových, tak i bytových prostorách. Zde by se ale jednalo spíše o zvýšení uživatelského komfortu než o výraznou úsporu provozních nákladů domácnosti.

V první části práce jsou nastíněny základy automatizace budov a přiblíženy principy bezdrátové komunikace. Dále jsou popsány možnosti regulace vytápění, osvětlení a dalších technologií, kde následně autor uvede i konkrétní výběr zařízení pro jednotlivá řešení. Následně je vytvořen modelový návrh, kde je vytvořena topologie sítě a představeno fungování rozsáhlejšího systému. Závěrem je charakterizován zvolený objekt a jeho současný provoz, kde je spočtena aktuální energetická náročnost v programu TRNSYS Simulation Studio, aby poté bylo možno vypočítat úspory a z nich plynoucí návratnost navrženého systému.

1 Bezdrátová automatizace budov

Automatizací budov je rozuměno současné řízení osvětlení, vytápění, klimatizace, případně i mnoha dalších technologií jak je vidět na obrázku 1-1. Tyto systémy jsou regulovány podle přijímaných dat, typicky získaných ze senzorů. Některé technologie mohou být řízeny i s předstihem s využitím například prediktivního vytápění závislém na předpovědi počasí. Cílem obou možností však je dosáhnout požadovaných parametrů vnitřního prostředí s vynaložením nejmenšího množství energie, případně s vynaložením nejmenších finančních prostředků. Návrh nespočívá pouze v efektivním využití energií a související finanční úsporou. Důležitý parametr je také zlepšení pohody prostředí pro uživatele, která se může přizpůsobit dle jejich požadavků, a tím zvýšit efektivita práce. V neposlední řadě je nutné myslet na vzdálený přístup jehož prostřednictvím je možno kontrolovat a ovládat celou síť a případně vypnout všechny spotřebiče na dálku. Toho využijí menší kancelářské budovy nebo jednotlivé části budovy, kde není operátor, který by měl celou síť na starost.



Obrázek 1-1: Systém řízení budov (Building Management System) a řízené technologie. [EZS]- elektronický zabezpečovací systém, [EPS]- požární systém. [2]

Rozdělení automatizace je možné na klasickou a systémovou. S tímto rozdělením se však setkáváme hlavně u drátových technologií, kde konvenční elektroinstalace využívá pevných spojení kontrolovaných a řídicích prvků. Je zde tedy přímé ovládání pomocí napájení. Systémová automatizace nevyužívá připojení k elektrické energii, ale ovládá zařízení prostřednictvím datového spojení. To znamená, že zde spadají i bezdrátové systémy, kde se kromě změny logických spojení může využít i změny polohy zařízení, například při změně dispozic stavby či nevhodnému umístění. Další přednosti bezdrátového systému je možná škálovatelnost, kdy se uživatel rozhodne připojit jednotlivé části v průběhu delšího časového horizontu a sníží tak objemnost nárazové investice. [3] [4]

1.1 Uspořádání sítě

Pro bezdrátovou síť je vždy nutné zvolit jaký bude mít tvar a jak zařízení budou mezi sebou komunikovat. V automatizaci budov můžeme rozlišit tři základní druhy členů:

- **Koordinátor** – Základní člen zodpovídající za tvorbu celé sítě. Proto v bezdrátové síti může být pouze jeden.
- **Router** – Jejich hlavním úkolem je přeposílání informací v síti, může ale zároveň pracovat jako řídicí člen části sítě.
- **Koncová zařízení** – Nejsou schopna komunikovat mezi sebou. Mohou komunikovat pouze prostřednictvím routeru, ale i koordinátoru. Tato zařízení mají typicky velmi malou spotřebu energie a jsou jimi hlavně senzory nebo spínače.

Rozložení výše zmíněných prvků poté závisí hlavně na požadované velikosti a rozmístění v objektu. Rozlišují se následující typy.

1.1.1 Star



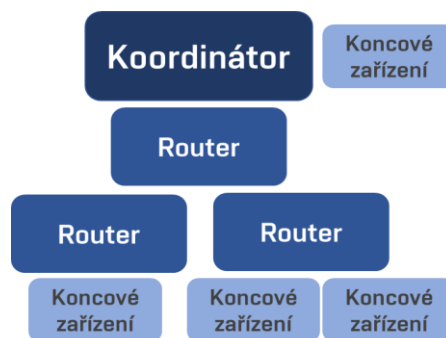
Obrázek 1-2: Bezdrátová komunikace – Hvězda

Nejjednodušším rozložením sítě je hvězda. Jak lze vidět na obrázku, všechna komunikace musí procházet skrz jediný řídicí člen. To znamená velkou zátěž pro systém v případě většího množství zařízení. Toto rozložení je tedy vhodné pouze pro malé systémy. V případě selhání koordinátoru zároveň selže celá síť, což je největší nevýhodou této topologie.

Vzdálenost všech prvků od hlavního členu musí být relativně krátká, aby komunikace mohla probíhat.

1.1.2 Tree

V této topologii, která je vidět na obrázku 1-3, routery mohou významně zvýšit dosah signálu a omezit přenos dat skrz koordinátor sítě. Je tudíž vhodná pro řízení od sebe vzdálených částí objektu, kde je větší množství koncových zařízení komunikujících mezi sebou skrz nadřazený router.



Obrázek 1-3: Bezdrátová komunikace – Strom

1.1.3 Mesh

Použitím tohoto rozložení se dá dosáhnout největší spolehlivosti, jelikož koncová zařízení mohou komunikovat více než s jedním routerem. V případě poruchy tak neselže celá síť ani celá větev, ale zařízení budou komunikovat prostřednictvím jiného v dosahu. Síť lze tedy jednoduše rozšiřovat. Nevýhodou však může být větší počet zařízení, která se mohou navzájem rušit.

1.1.4 Srovnání

Při výzkumu v podzemním důlním komplexu, kde se na protokolu ZigBee porovnávaly tree a mesh topologie, se zjistilo, že obě rozložení mají jisté výhody. Během měření se postupně zvětšoval počet uzlů v síti ze 12 až na 50 a měřilo se procento úspěšně doručených paketů v čase, zpoždění mezi oběma konci, spotřeba energie a bezpečnost přenosu. Při měření doručených paketů byly při počtu 12 uzlů výsledky srovnatelné. Po postupném rozšíření se při uspořádání do stromu hodnota snížila až ke 20 %, kdežto mesh provedení stabilně zůstávalo u 80 %. Při měření odezvy bylo dosaženo lepšího výkonu u tree uspořádání, kde bylo zpoždění třikrát nižší než u druhého typu sítě. Podobně tomu bylo u energetické náročnosti. [5]

Z výsledků experimentu tedy vyplývá, že pro řízení budov je vhodné síťové uspořádání, kde delší odezva příliš nevádí. Je to však za cenu častější výměny baterií v modulech.

1.2 Komunikační standardy

V dnešní době je možné si vybrat mezi širokou škálou komunikačních protokolů pro řízení budovy. U bezdrátových technologií výběr není tak velký jako u drátových. Nicméně jsou zde takové, které se používají celosvětově a zároveň dochází k rozvoji dalších společně s tím, jak celý segment automatizace roste. Nejznámějšími jsou Wi-fi a Bluetooth. Pro komunikaci více zařízení ale nejsou vhodné, protože podporují pouze uspořádání do hvězdy. Mají vysoké přenosové rychlosti, které ale pro automatizaci budov nejsou potřeba. Jejich nevýhodou je velká energetická náročnost a zařízení, která jejich prostřednictvím komunikují, se hodí spíše pro automatizaci domácností.

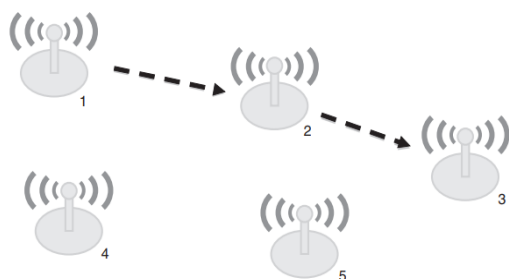
1.2.1 ZigBee

Prvním z celosvětově používaných standardů je ZigBee. Nejvíce rozšířený byl pro senzorické sítě, nyní se ale používá i pro kontrolu a správu budov. ZigBee zařízení jsou klasicky napájeny z baterií a proto mají uvnitř nenáročný 8-bitový mikropočítač. Nejsou schopny vysílat signál velkými přenosovými rychlostmi, avšak díky úspornému čipu a malému vysílacímu výkonu zařízení vydrží i několik let bez výměny baterie. [6]

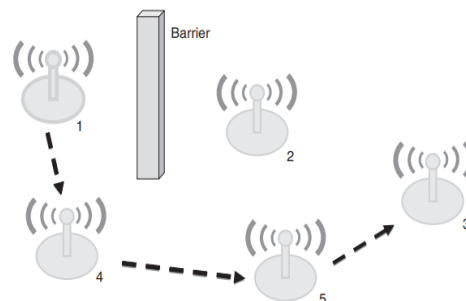
Jedná se také o velmi spolehlivý protokol. V případě špatného signálu nebo rušení se využijí následující principy [7]:

- IEEE 802.15.4 – Velice spolehlivá bezdrátová technologie s nízkým rozsahem, podobná Wifi, využívající techniku přímého rozprostřeného spektra, poskytující větší odolnost vůči rušení
- CSMA-CA (Carrier Sense Multiple Access) – Pravděpodobnostní protokol přístupu k médiu (MAC protokol), ve kterém uzel ověřuje nepřítomnost dalšího provozu před vysíláním. Zamezuje tak zařízením komunikovat přes sebe, což by narušilo vysílaná data.
- 16-bit CRCs – Cyklický redundantní součet zabraňuje přijetí poškozených bitů. Pokud je kontrolní součet shodný, tak téměř jistě k žádné chybě nedošlo.
- Potvrzení o přijetí dat – V případě že se data ve správném tvaru nedostanou do cíle, budou odeslána znovu.

Další faktor přispívající ke stabilitě sítě je mesh rozložení. V protokolu ZigBee se nejprve vyhledá nejvhodnější cesta a v případě že je komunikace přerušena (obrázek 1-4a), využije se self-healing systém, tzn. automaticky přepne na druhou nejvhodnější cestu k cíli (obrázek 1-4b). [7]



Obrázek 1-4a: ZigBee přenos skrz mesh síť



Obrázek 1-4b: Zigbee přenos v případě přerušení signálu [7]

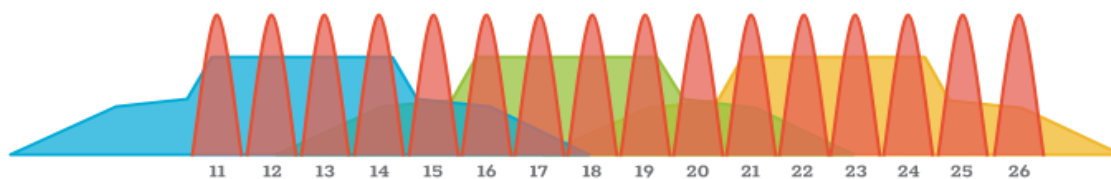
1.2.1.1 Komunikace v síti

ZigBee rozlišuje dva hlavní typy zařízení v soustavě. Jsou to FFD (full-function device) a RFD (reduced-function device). FFD může zaujímat jakoukoli funkci zařízení v síti, kdežto RFD mohou komunikovat pouze prostřednictvím FFD. Zařízení s omezenými funkcemi jsou typicky napájena baterií a vykonávají jednoduché funkce jako např. zapnout/vypnout či posílání informací o prostředí. Jelikož se snaží šetřit energii, tak v případě nečinnosti přepínají do režimu spánku. Výdrž baterie tedy úzce souvisí s tím, jak často zařízení komunikuje s nadřazeným členem. [8]

Koordinátor je full-function device a vytváří identifikátor celé sítě (PAN ID). Jako jediné zařízení také může připojovat další. Ta poté mohou být přesunuta na místo bez přímého spojení s koordinátorem. Díky PAN ID může být vytvořeno více uzavřených sítí v rámci jedné budovy, aniž by se navzájem ovlivňovaly, a tím se umožní jednodušší správa. PAN ID je 16-bitové číslo, takže se případné kolize nepředpokládají. Výskyt dvou stejných identifikátorů je sice možný, ale pouze na jiném kanále. Na druhou stranu je ale možné poslat broadcast signál na všechna zařízení najednou i když mají odlišné PAN ID.

1.2.1.2 Rušení Wifi sítí

Při výběru ZigBee zařízení je nutné dát si pozor na jaké frekvenci jsou provozována. Problém může představovat síť wifi, která je dnes všudypřítomná a nachází se ve volném pásmu ISM (2,4 GHz) jako některé prvky ZigBee protokolu. V případě výběru zařízení komunikujících ve 2,4 GHz je nutné vybrat kanál, který bude mít nejmenší rušení, anebo zvolit jiný kanál pro provozování wifi a uvolnit tak místo pro ZigBee. Wifi routery totiž mají mnohem vyšší vysílací výkon a v krajním případě by úplně zastavily ZigBee komunikaci.



Obrázek 1-5: Kanály wifi sítě a kanály ZigBee (červeně) na frekvenci 2,4 GHz [9]

Aby se tomuto rušení zabránilo, tak se pro ZigBee a další bezdrátové technologie v Evropě rezervovalo pásmo 868 MHz. Díky tomu má už většina výrobců výběr zařízení pro Evropu, Severní Ameriku a poté zvláště pro 2,4 GHz, které je určeno pro celý svět. takže wifi síť už při bezdrátové automatizaci budov není překážkou. [9]

1.2.2 Z-Wave

Z-Wave je v mnoha ohledech podobný jako protokol ZigBee. Používá mesh rozložení a všechny přístroje v ní mají malý vysílací výkon, aby dosáhli srovnatelné výdrže na baterii. Systém je ale vytvářen primárně pro automatizaci domácností, a tudíž má jistá omezení. Dalo by se napsat, že vše, co zvládá Z-Wave, zvládne i ZigBee, naopak to ovšem neplatí. Oba protokoly používají standard pokročilého šifrování, zajišťující dostatečnou ochranu před nabouráním do sítě. Odlišností je omezení na 232 zařízení v síti a maximální počet uzlů, který signál musí překročit, je redukován na 4. Síť se nicméně dají spojovat a existují i projekty s více než několika tisíci zařízeními. Takovou topologii může využít hotel, kde v každém pokoji vznikne uzavřená síť čítající jednotky nebo desítky zařízení, které jsou propojeny přes ethernet, čímž můžou být vzdáleně řízeny. [10]

1.2.2.1 Kompatibilita

Velkou výhodou je kompatibilita všech zařízení díky společnosti Z-Wave Alliance, která zajišťuje jejich licencování a zaručuje společné standardy pro jednotlivé typy zařízení, které musí výrobce splňovat. To znamená, že používají velmi podobné řídicí povely, a je jednodušší jejich integrace do systému. V současnosti je na trhu oproti roku 2017 dalších tisíc zařízení, která jsou zpětně kompatibilní se zbylými 1600. Je ale možné se setkat i s omezenou schopností komunikace, například: prvek je připojen do sítě, je ale možné ho řídit jen v módu zapnuto-vypnuto. Slovem interoperabilita, používaným certifikující společností, se tedy nerozumí úplná funkčnost. [11]

1.2.3 EnOcean

Další protokol, který se snaží o kompatibilitu všech zařízení je EnOcean. Kompatibilita je jeden ze základních stavebních kamenů 11 let staré aliance, sdružující více než 250 výrobců. Na trh společnost prorazila díky schopnosti samo-dobíjení a velmi malé energetické náročnosti zařízení. EnOcean to nazývá jako energy-harvesting, kdy si komponenty berou energii na svůj provoz z okolního prostředí umožňující funkčnost bez přítomnosti baterií. Zařízení dokáží využít energií sluneční, mechanickou, ale i tepelnou, Zde se využívá malého teplotního spádu pro výrobu elektrické energie vhodného například pro pohon radiátorových hlavíc. Tato zařízení jsou však příliš energeticky náročná a při častější regulaci by energie získaná z okolí nestačila. Kvůli tomu existuje jen pár takových zařízení. Hojně je však tato technologie používána pro senzory a kontrolu světla. Společnost tvrdí, že jejich výrobky jsou schopny fungovat i více než 20 let. [12]

Komponenty podporující EnOcean přenos se skládají z jednotlivých modulů. Základem je vždy vysílač PTM 33x, na který se dá připojit energy-harvester. Příklad možného spojení je PTM 330, sloužící jako senzor sepnutí, nebo může fungovat také jako spínač, a ECO 200 schopný měnit mechanickou energii na elektrickou. Právě spojováním modulů je zaručena výše zmíněná kompatibilita zařízení jiných výrobců. [13]

EnOcean technologie není jenom o patentovaném získávání energie z prostředí. Tento standard se rozšířil také díky podpoře ostatních drátových systému (KNX/EIB, BACnet, LON, atd.). Je-li tedy systém řízení v budově již obsažen v drátové podobě, je jednoduché ho rozšířit nebo vylepšit pomocí bezdrátových zařízení. Podobně jako ZigBee totiž komunikuje v celosvětově otevřené normě IEEE 802.15.4. a mohou tak být vyvíjeny převodníky mezi protokoly.

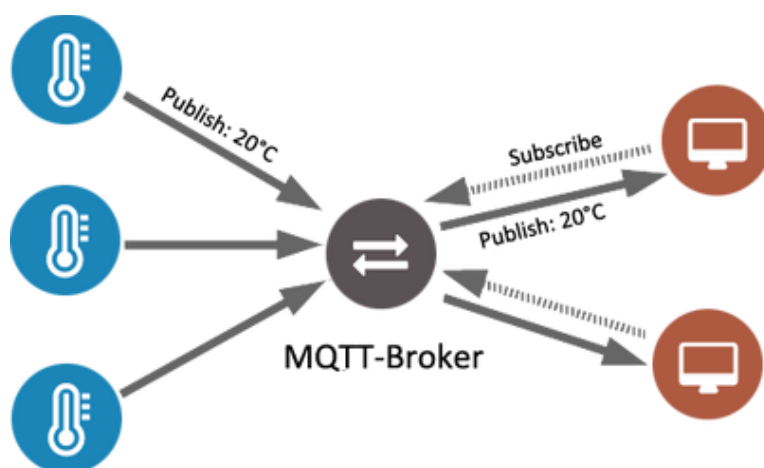
1.2.4 Loxone Air

Jedním ze zástupců, který poskytuje kompletní řešení pro bezdrátovou automatizaci budov, je firma Loxone. Nabízí portfolio zařízení pro řízení osvětlení, vytápění i mnoha dalších segmentů automatizace. Je tedy možné zvolit jediný kontrolér od jedné společnosti, a řídit tak celý objekt. Velkou výhodou je i nabídka rozhraní pro komunikaci se sběrnici KNX, či Jablotron 100. Velkou nevýhodou naopak je uzavřený systém, nepodporující bezdrátové zařízení jiných společností. Zákazník se tedy musí spokojit s výběrem výrobce, který sice nabízí dobře odladěné komponenty, ale za vyšší cenu a s menšími možnostmi rozšiřování systému.

Do stejné kategorie je možné zařadit i Poseidon od Novopacké firmy Enika, která se zabývá převážně osvětlením. Obě společnosti mají v nabídce i drátové řešení, tudíž se dají kombinovat výhody obou řešení.

1.2.5 MQTT

Je jediný zmíněný protokol nepoužívaný pro komunikaci v síti, ale pro komunikaci mezi nimi nebo mimo ně. Funguje jako most mezi různými IoT technologiemi. Může být využit ke spojení dvou či více od sebe vzdálených systémů a vytvoří tak jednu síť nebo propojí systémy postavené na jiném standardu. Komunikace se pak uskutečňuje prostřednictvím serveru neboli brokeru, kde jedná část se chová jako publisher (předává data) a druhá jako subscriber (přijímá data). Ti si potom mohou předávat témata (topics), čímž se omezí předávání dlouhých kódů. Jednoduchý princip popisuje obrázek 1-7.



Obrázek 1-6: Komunikace prostřednictvím MQTT [14]

2 Možnosti měření a regulace

Pro každou regulaci je nutné mít přesné informace o stavu soustavy. Naměřené hodnoty prostřednictvím čidel jsou poté zpracovány a vyhodnocuje se jejich odchylka od požadované hodnoty. Tyto systémy řízení mohou být decentralizované, kde se řídí každé odvětví (vytápění, osvětlení, větrání, atd.) zvlášť pomocí vhodného protokolu. Nebo se může využít centralizovaného systému, kde je jedna nadřazená jednotka a dokáže komunikovat ve více jazycích současně. U tohoto řešení je tak možno využít čidel komunikujících v protokolu A a přenášet informace ovladači v protokolu B. Rozšiřování je tedy jednodušší a může se snížit počet senzorů připojených do sítě. Právě zde se využívá standardu MQTT. Pro požadované řešení navíc nemusí být v jednom standardu dostatečný výběr koncových zařízení. Pro potřeby bezdrátové automatizace budov je tedy vhodné zvolit centralizovaný systém.

2.1 Měření

Bez senzorů by se inteligentní budova spravovala jen velmi obtížně. Proto je jich nepřeberné množství napříč protokoly i výrobci. Některá čidla kombinují měření více veličin. O to je pak důležitější jejich umístění, aby naměřené hodnoty popisovaly reálný stav prostředí. Velký výběr sólo i multi-senzorů prodává firma Develco, která má certifikaci ZigBee Home, což znamená že není potřeba speciální brány této firmy, protože zařízení jsou schopné komunikovat s ostatními ZigBee zařízeními splňující tuto certifikaci.

2.1.1 Měření teploty

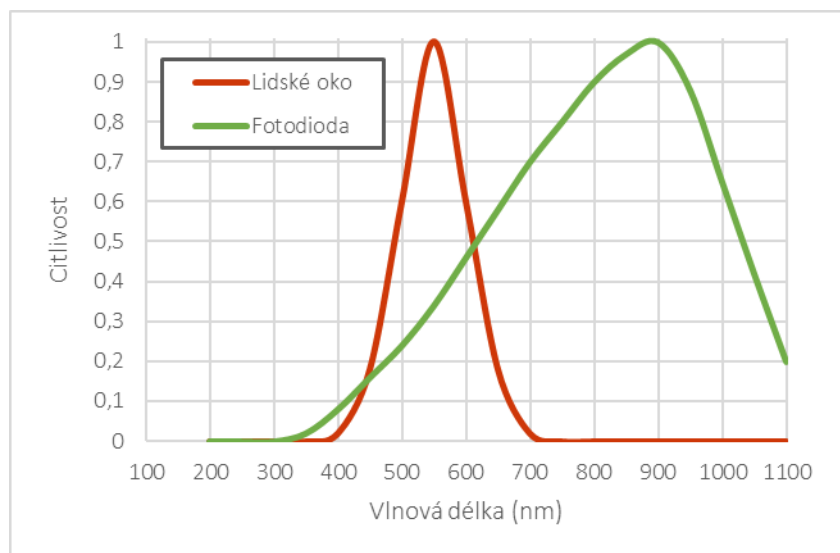
Pro měření teploty se v automatizaci budov používají převážně termočlánky. Převážně kvůli jejich jednoduchosti a odolnosti. Skládají se ze dvou různých kovových materiálů, které jsou spojeny v jednom bodě. Při změně teploty ve spoji se mění potenciál, který je následně převeden na digitální signál. Nevýhodou je jejich nelinearita. Ve vnitřním prostředí se ale běžně používají snímače s odchylkou 0,5 °C, tak to nepředstavuje problém. Mohou být použity jednak jako snímače teploty vzduchu umístěné na stěně nebo jako čidlo připevněné k rozvodu topné vody. Díky velkému rozsahu termoelektrického článku se mohou použít i pro venkovní prostředí. Většina výrobků je totiž určena až do (– 20) °C. [15]

2.1.2 Kvality vzduchu

Jsou schopny měřit koncentraci různých látek v místnosti. Mohou vycítit přítomnost kouře i únik plynu. Používané jsou hlavně v místnostech, kde lidé přebývají delší dobu a signalizují zvýšené množství oxidu uhličitého v místnosti. S tímto úzce souvisí i přítomnost oděru, organických sloučenin a mikroorganismů, vylučovaných člověkem, vedoucím ke snížené schopnosti člověka se koncentrovat. Vhodné je také jejich použití jako bezpečnostního zařízení například v kotelnách, garážích nebo skladech materiálu a vyhnout se tak požárům či otravě. Často jsou také kombinované se snímačem vlhkosti vzduchu a poskytují tak potřebné informace pro řízení větrání. [16]

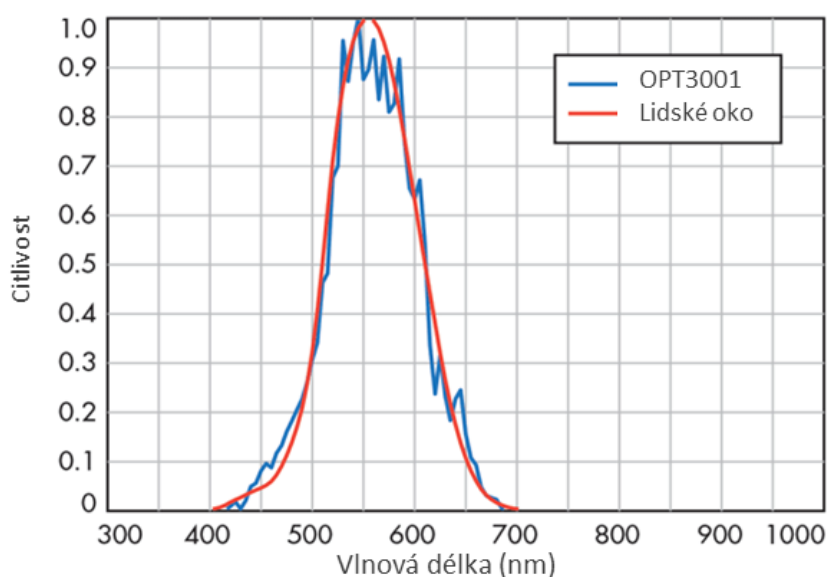
2.1.3 Intenzity světla

Cílem senzorů intenzity světla je, aby co nejvíce odpovídaly tomu, jak na světlo reaguje lidské oko. Standardní fotodioda, která se u některých senzorů používá, je v tomto ohledu naprosto nedostačující. Na obrázku 2-1 je znázorněna její nejvyšší citlivost na vlnové délce okolo 900 nm, kdežto u lidského oka se pohybuje okolo 550 nm.



Obrázek 2-1: Citlivost lidské oka a diody v závislosti na vlnové délce

Dražší, ale přesnější řešení nabízí firma Texas Instruments se svým senzorem okolního světla OPT3001 (obrázek 2.2). Fotoskopická reakce snímače se velmi podobá reakci lidského oka. Je tedy vhodné použít tento nebo podobný typ snímače pro regulaci osvětlení v místnosti, kdežto fotodioda se může použít jako soumrakový spínač pro venkovní osvětlení. [17]



Obrázek 2-2: Porovnání citlivosti lidského oka a senzoru OPT3001 [17]

2.1.4 Pohybu

Pro detekci pohybu se používají hlavně PIR (passive infrared) snímače. Používají se převážně pyroelektrické PIR senzory založené na deformaci krystalové mřížky teplým objektem, které zaznamenávají pohyb mezi dvěma místy. Kvůli sedavé práci u počítače se proto nehodí jako senzor do kanceláří. Snímání nepatrných pohybů dokáže ultrazvukový nebo také Dopplerovský senzor pohybu, u kterého dochází k posunu frekvence vysílaného a přijímaného signálu. Jelikož se signál šíří všemi směry a skrz překážky, zaznamenává menší rozdíly v pohybu než PIR. Může ale také detekovat pohyb mimo místnost v níž je nainstalován.

2.1.5 Spotřeby energie

Měření spotřeby energie není jako jediné propojeno s žádným akčním členem. Může se však hodit při hledání dalších úspor v systému, kdy je možné ukládat data o spotřebě z předchozích let a mezi sebou je porovnávat. Společnost Smart-Me nabízí široký sortiment pro měření elektřiny se zabudovaným wifi modulem, hodící se například ve spojení s nově vybudovanou fotovoltaickou soustavou. Některá stávající měřidla jako plynoměr, vodoměr či fakturační elektroměr mají impulzní výstupy a je možné použít bránu, která bude pulzy přeposílat v jednom z bezdrátových protokolů. Takové zařízení připojené na elektroměr je vyfoceno na obrázku 2-3. V případě jiných zařízení bez pulzního výstupu je možné využít čítač blikání led diody.

Ze zkušeností některých uživatelů by se v případě většího množství těchto zařízení měl zvolit jiný komunikační standard než pro řízení ostatních technologií. Údaje o spotřebě se předávají neustále a mohly by rušit spojení mezi komponenty komunikujícími ve stejném standardu.



Obrázek 2-3: Externí měřicí rozhraní od společnosti Develco

2.2 Vytápění

Jedním z nejzákladnějších požadavků v technice prostředí je zajištění tepelného komfortu uživatele. Ve stávajících budovách to budou zajišťovat převážně teplovodní desková nebo článková tělesa. Právě z tohoto důvodu je zde důležitá regulace. Soustavy po modernizaci izolace budovy mohou být značně předimenzované a mohou mít vyšší setrvačnost, způsobující přetápění.

Nejdříve je nutné si určit, jak celou otopnou soustavu regulovat. Je možné regulovat buď zdroj tepla nebo spotřebiče tepla (radiátory). Zdroj tepla u starších budov bude pravděpodobně plynový kotel, který je schopen řídit svůj výkon podle potřeby tepla dodávaného do systému, nebo budova bude centrálně zásobována teplem.

2.2.1 Regulace zdroje tepla

2.2.1.1 Regulace podle vnitřní teploty vzduchu

Pro regulaci podle vnitřní teploty vzduchu je zvolena referenční místnost, která rozhoduje o míře vytopení celého objektu. Do této místnosti se umístí termostat aniž by ho ovlivňoval jakýkoli zdroj tepla. Jakmile teplota v místnosti dosáhne požadované hodnoty vyšle signál k vypnutí kotle. V případě že se jedná o kotel s možností regulace, tak dá pokyn směšovacímu ventilu. Jestliže opět dojde ke snížení teploty vyšle se opačný signál.

Tento způsob není vhodný pro vytápění velkých objektů, kde je velká setrvačnost celé soustavy a projevuje se zde hystereze. Je tedy často nutný i manuální zásah do regulace. Pro rozsáhlejší systémy s velkým množstvím těles je vhodnější regulovat podle venkovní teploty. [4]

2.2.1.2 Ekvitermní regulace

Je to způsob, kdy se na základě venkovní teploty a vlastností budovy přizpůsobuje teplota otopné vody. I zde je však nutnost mít termostat nebo teploměr v referenční místnosti, kde se měří, případně nastavuje požadovaná teplota, na jejímž základě se zvolí ekvitermní křivka. K určení venkovní teploty se použije bezdrátový senzor a umístí se tak, aby nebyl vystaven okolním vlivům (slunce, déšť atd.). Tento způsob je uživatelsky příjemnější, protože se tak eliminuje přetápění a dlouhý náběh otopných těles. [4]

2.2.1.3 Řešení pro řízení zdroje tepla

Pro ovládání kotle podle vnitřní teploty je možné použít klasický termostat s možností bezdrátového řízení například od firmy Honeywell. Pro ekvitermní regulaci jsou navržena komplexní řešení, kterým je například *Unireg 100 společnosti Afriso* s PID regulátorem, který komunikuje přes wifi a je schopen regulovat kotel s akumulací nádrží či solárním dohřevem. Jednotku je potřeba umístit ke zdroji tepla, kde se připojí dvě drátová čidla kontrolující teplotu přívodu a zpátečky a dvě bezdrátová, měřící venkovní a vnitřní prostorovou teplotu.

2.2.1.4 Regulátor směšovacího ventilu

V systému *Unireg 100* je regulátor již obsažen. Stačí pouze dokoupit ventil (ARV 384) se servo pohonem (ARM 343) a připojit jej k regulaci. V případě regulování pouze pomocí směšovacího ventilu je nutné pořídit regulátor například od české firmy Elektroblok.

2.2.2 Regulace radiátoru

U regulace radiátorů se již nereguluje teplota otopné vody, ale průtok. Je možné si vybrat mezi regulací celé větve nebo každého topného tělesa zvlášť. V případě, že je na tělesech termostatická hlavice je nejpříjemnějším a nejrychlejším řešením pouze výměna za hlavici bezdrátovou. Ovládáním celých větví se zase ušetří za menší počet zařízení. S připočtením práce instalatéra se však i přesto nemusí jednat o levnější řešení.

2.2.2.1 Termostatická hlavice

Na termostatický ventil se pouze přišroubuje hlavice s elektropohonem a bateriemi. Tyto hlavice většinou mají i senzor teploty, takže je jen potřeba teplotu nastavit, ať už manuálně nebo vzdáleně. Příkladem takového zařízení je MAX! Radiator Thermostat+, který ve spojení se senzorem otevřeného okna stejné společnosti automaticky uzavírá ventil a zabraňuje tak vyšším tepelným ztrátám. Je možné také vybrat komplexní řešení od firmy Honeywell, která má na svou řídicí jednotku navázané bezdrátové hlavice, reléovou jednotku pro řízení kotle i senzory teploty.

2.3 Osvětlení

Zásadní roli kromě tepelné pohody hrají i světelné podmínky. Ty by měly odpovídat BOZP (bezpečnosti a ochraně zdraví při práci). Pro kancelářskou práci je intenzita osvětlení doporučená v rozmezí 300 – 500 lux při měření přibližně 76 cm nad podlahou (viz tabulka 2.1). Toho se dá dosáhnout pouze regulací umělého osvětlení v závislosti na denním světle. Regulace intenzity světla nejen že sníží spotřebu elektrické energie, ale zvýší se i komfort zaměstnance. Významný vliv na efektivitu práce má také barva světla. Během dne přirozené denní světlo mění svou teplotu v rozmezí přibližně mezi 3000 – 8000 K (kelvinů). Abychom se co nejvíce přiblížili dennímu světlu, je doporučeno používat světla umožňující změnu chromatičnosti – teploty světla. Tu pak lze během dne upravovat dle potřeby. [18]

Tabulka 2-1: Doporučené hodnoty intenzity osvětlení pro různé činnosti [19]

Prostor (činnost)	Udržovaná osvětlenost (lux)	Prostor (činnost)	Udržovaná osvětlenost (lux)
Komunikační prostory a chodby	100	Kadeřnictví	500
Nakládací rampy a místa	150	Šperkařství – výroba šperků	1000
Odpočívárny	100	Prádelny a čistírny – praní a čištění	300
Ošetřovny	500	Kanceláře – zakládání dokumentů, kopírování atp.	300
Regálové sklady – uličky bez obsluhy	20	Kanceláře – psaní, psaní na stroji, čtení, zpracování dat	500
Regálové sklady – uličky s obsluhou	150	Administrativní prostory – recepce	300
Pekárna – příprava a pečení	300	Šatny, toalety	200

Základní systém řízení osvětlení se často objevuje i ve starších budovách, kde řídí pouze prostřednictvím zapojení a odpojení napájení. V současnosti takový systém nedostačuje požadavkům pro chytré řízení ani úsporu. Využívá se proto světelných schopných regulace výkonu, kdy některá z nich dokáží komunikovat i v jednom z bezdrátových standardů, takže zařízení stačí připojit do sítě, spárovat a poté na dálku ovládat.

Automatizovat osvětlení lze více způsoby souvisejícími s typickým provozem v objektu.

- V závislosti na přítomnosti osob – osvětlení se zapne, pokud senzor zachytí pohyb a po jisté době nečinnosti se opět vypne.
- V závislosti na přítomnosti osob a jasu – v případě že je detekován pohyb, ale je v místnosti dostatek světla, tak se nezapne.
- V závislosti na přítomnosti osob a jasu na konstantní úroveň – při nedostatku světla zvyšuje osvětlení výkon až na požadovanou úroveň zaznamenanou snímačem.

Každá z těchto variant je vhodná do odlišných podmínek. První dvě se hodí do zřídka používaných místností nebo částí které jsou využity jen během krátkých intervalů. Třetí možnost se využívá například v kancelářích, kde se v průběhu dne mění míra osvětlení sluncem. V tomto případě je nutné vyměnit žárovky či zářivkové trubice za LED svítidla se schopností stmívání a následně se tak mohou řídit celé větve nebo každé svítidlo zvlášť.

2.3.1 Chytrá žárovka

Pro rychlou instalaci bez zásahu do elektroinstalace je dobrou volbou ovladatelná žárovka. Vhodná je zejména do místností s malým množstvím svítidel. Zde jsou lídry na trhu firmy Osram a Phillips, které používají systémy Lightify a Hue. Tyto systémy používají vlastní kontrolní jednotky využívající ZigBee LightLink protokol určený pro kontrolu světelných a jednodušší integraci dalších výrobků podporující stejný standard. Výhodou je velký výběr LED osvětlení včetně vypínačů nebo senzorů napájených baterií, jednoduchost instalace a možnost změny teploty vyzařovaného světla.

2.3.2 Vypínač – stmívač

Spínač nebo stmívač vyžaduje demontáž a výměnu vypínače. Dokáže poté ale řídit celou větev a případně stmívat všechny světla najednou. Výrobci těchto komponentů je na trhu mnoho. Příkladem je spínač Aqura od společnosti Xiaomi a stmívač od RGBGenie na obrázcích 2-4a, b. Pro řízení zapnuto/vypnuto se používají řešení z levého obrázku. Právě je vhodné k zamezení přístupu k regulaci světelných a ponechání této funkce pouze centrální jednotce.



Obrázek 2-4a, b: ZigBee vypínač (vlevo) a stmívač (vpravo) [20]

2.4 Větrání

Úkolem větrání je zajistit dostatečný přísun vzduchu, aniž by se zvýšila koncentrace nežádoucích látek nad přípustnou hranici. V kancelářských prostorech se nejčastěji setkáváme se zvýšeným podílem CO₂ nebo s přítomností odérů. Tento vzduch se při větrání mísí s přiváděným a vlivem tlakové difference je odváděn do venkovního prostředí. Ve stávajících budovách je ve většině případů nutné se spokojit s větráním okny. Tato varianta není příliš účinná, ale při koordinovaném řízení dovede přinést úspory. V případě otevření oken na návětrné a závětrné straně se vytvoří větší rozdíl tlaků a objekt se vyvětrá rychleji. V případě bezvětrí se využije přetlak způsobený teplotním rozdílem, a když snímače zaznamenají nižší koncentraci oxidu uhličitého, než je požadována, všechny okna se uzavrou. Větráním na základě koncentrace CO₂ se dá ušetřit až 20 % nákladů na energie [16].

V přirozeném prostředí je koncentrace CO₂ kolem 400 ppm, v průmyslových oblastech je hodnota o něco vyšší. Přibližně 20 % populace začíná negativně reagovat již při koncentraci CO₂ kolem 1000 ppm. Při vyšším množství jsou příznaky popsány v tabulce 2-2. Podle vyhlášky č. 268/2009 Sb. nesmí být ve vnitřním prostředí hodnoty vyšší než 1500 ppm. Jelikož ale v budovách trávíme čím dál tím více času, je vhodné se držet nižších koncentrací.

Tabulka 2-2: Účinky CO₂ na lidský organismus [21]

cca 400 ppm	střední úroveň venkovního prostředí
do 1000 ppm	doporučená úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1200-1500 ppm	doporučená maximální úroveň CO ₂ ve vnitřních prostorách
1000-2000 ppm	nastávají příznaky únavy a snižování koncentrace
2000-5000 ppm	nastávají možné bolesti hlavy
5000 ppm	maximální bezpečná koncentrace bez zdravotních rizik
> 5000 ppm	nevolnost a zvýšený tep
> 15000 ppm	dýchací potíže
> 40000 ppm	možná ztráta vědomí

2.4.1 Otevírání oken elektromotorem

Aby se zajistil přísun čerstvého vzduchu 25 m³/h na jednoho člověka daný vyhláškou, je nezbytné pravidelné větrání. Ve stávajících budovách je řešením elektrický otevírač oken (např. Smarwi od firmy Vektiva). Tím se omezí zásah uživatele do systému a zamezí nadměrnému větrání a tepelným ztrátám. Tato zařízení mají na poměry bezdrátové automatizace velkou spotřebu elektrické energie. Pro každodenní otevírání oken je tedy vhodné jej připojit do elektrické sítě a nespolehat na baterii. V případě předpovědi deště nebo silného větru se dá využít IFTTT (if this than that), což je nástroj k propojení a automatizaci internetu a programů umožňující vykonat činnost v případě nějaké události. Například při nepříznivé předpovědi počasí zavřít okna a podobně.

2.4.2 Řízení přívodu vzduchu ze vzduchotechnického kanálu

Pokud je systém nuceného větrání v budově instalován, jedná se často o neekonomický provoz, kdy je ventilační jednotka řízena časovým programem na konstantní přívod vzduchu do místností. Počítá se zde s typickým vytížením místností a přívodem čerstvého vzduchu na jednoho člověka, aniž by tento průtok odpovídal reálně potřebě. [22]

2.4.2.1 DCV systém

Demand Controlled Ventilation funguje na principu větrání podle požadavku na kvalitu vzduchu. Jednotka tedy nastaví svůj výkon podle naměřené koncentrace CO_2 v místnosti. Řešení je vhodné zejména pro rozsáhlé prostory. V případě většího množství zón se však některé místnosti budou větrat příliš a některé nedostatečně. Musely by se tedy instalovat klapky se servopohonem do přívodních kanálů každé zóny, aby se průtok do každé místnosti dal regulovat podle aktuálně naměřeného množství oxidu uhličitého. Takovéto řešení nabízí firma Alan Manufacturing [23]. Je zde ale vyžadováno připojení elektrické energie k servopohonu a především zásah do ventilačních kanálů, které mohou být špatně přístupné.

2.4.2.2 VAV systém

Pro řízení více zón současně se nabízí řešení v podobě vyměnitelné výustky například od společnosti EcoNet, která nabízí různé dimenze modelu mřížky Z-Vent EV100 (obrázek 2- 5). Každá klapka je řízená elektropohonem uzavírajícím se podle koncentrace CO_2 v jedné ze zón. Tím se zvýší tlak v potrubí a následně ventilační jednotka sníží svůj výkon. Je tedy nutná kalibrace jednotky za stavu, kdy jsou všechny klapky otevřené a měří se průtok výustkou s největší tlakovou ztrátou. Následně se zvyšuje tlak v přívodním potrubí, aby byl zajištěn dostatečný průtok i nejbzdálenější výustkou. Klapky jsou vybaveny servopohonem, který je umožňuje pouze zavírat nebo otevírat. Koncentrace oxidu uhličitého se tedy mění v čase.



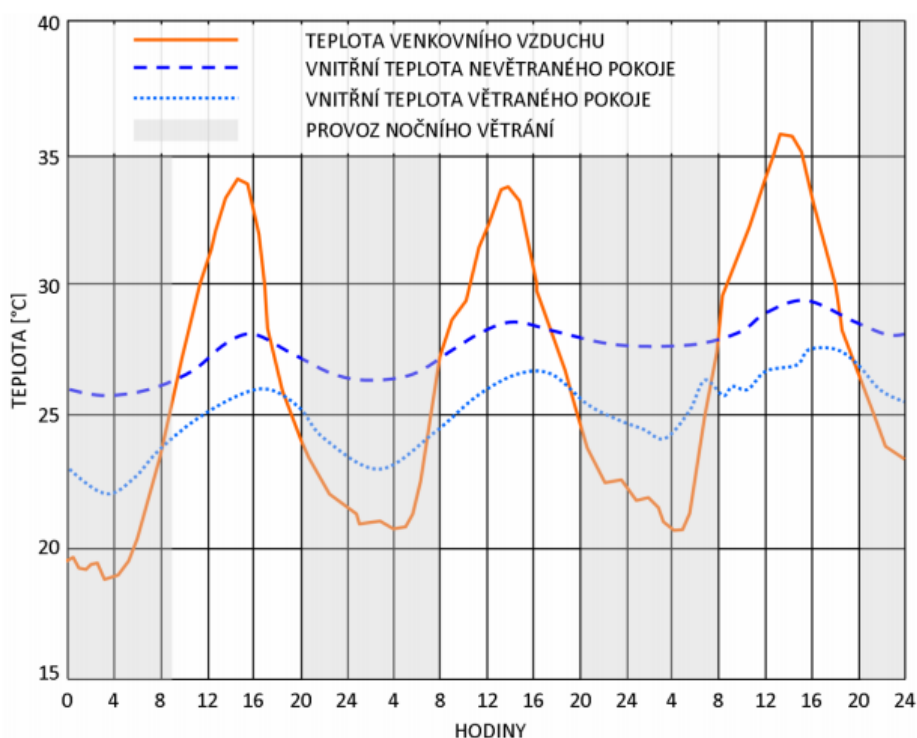
Obrázek 2-5: Vyměnitelná výustka s bezdrátovým řízením [24]

2.5 Chlazení

V současnosti je nedílnou součástí vybavení i starších objektů systém chlazení. V letních měsících se k tepelným ziskům od výpočetní techniky a lidí přidávají větší solární zisky, které v případě nepřítomnosti stínění budovu významně přehřívají.

Pro chlazení se typicky využívají split jednotky pro jejich snadnou a rychlou montáž, kdy je potřeba akorát umístit a propojit vnitřní jednotku s vnější. Aby jednotky pokryly tepelnou zátěž, musí produkovat v porovnání s vnitřní teplotou velmi studený vzduch s velkou rychlostí proudění. To má za následek vytvoření velké teplotní difference v místnosti kvůli nerovnoměrné distribuci studeného vzduchu. Výkon těchto split systémů můžeme snížit díky přirozenému nočnímu větrání pomocí již zmíněných elektromotorů pro otevírání oken. Zde se může naplno využít akumulčních schopností zděných či betonových budov. Výhodou je minimální spotřeba energie na provoz takového systému a důkladné provětrání a vyrovnání koncentrací CO_2 s venkovním prostředím. Nevýhodou je vhánění velkého množství poletavého prachu, kvůli nepřítomnosti filtrů, a možné zvýšení nákladů na úklid. [25]

Významný pokles teploty v objektu vlivem nočního provětrávání dokazuje experiment provedený v Izraeli, kde byly vytvořeny 2 identické místnosti, které obklopovaly 20 cm široké betonové stěny a 15 centimetrů tlustá betonová střecha. Jedna z místností byla během dne i noci uzavřena a druhá byla od osmé hodiny večerní do osmé hodiny ranní provětrávána okolním vzduchem proudícího otevřenými dveřmi. Rozdíl mezi testovacími místnostmi je znázorněn na obrázku 2-6, který dosahuje 5 až 8 °C. V případě přirozeného větrání i přes den a dalších tepelných zisků by se však rozdíl v průběhu pracovní doby snížil. [26]



Obrázek 2-6: Průběh teplot během experimentu využívající noční provětrávání [33]

2.5.1 Infračervený ovladač

Pro řízení split jednotek se dá využít schopností IR vysílače, do kterého se nahrají signály ze současného ovladače, a systém chlazení tak může být začleněn do sítě jako virtuální zařízení. V případě že chladicí zařízení nelze kontrolovat pomocí infračervených signálů, je možné připojení do chytré zásuvky, která bude vypínat a zapínat jednotku, a navíc bude vysílat data o spotřebované energii.

2.5.2 Wifi adaptér

Další možností pro řízení split jednotek je wifi adapter připojený k jednotce drátově. Řešení vhodné pro jednotky, které nelze řídit infračerveným ovladačem. V portfoliu svých výrobků nabízí takovéto zařízení například společnost Daikin. Konkrétně se jedná o BRP072A42 adaptér, schopný komunikovat s většinou split jednotek mladších 8 let.

2.6 Řídící členy

Pro činnost bezdrátové sítě měření a regulace je nezbytný řídící člen. Jeho primární funkcí je sběr dat a ovládání akčních členů. Na základě naměřených hodnot ze senzorů jsou poté programovány akce či série akcí za účelem zajištění komfortního klimatu pro uživatele. Například v kancelářských budovách představují největší náklady právě platy zaměstnanců. Náklady na provoz technologií jsou poté několikanásobně nižší. Jelikož produktivita práce úzce souvisí s pohodou prostředí, je vhodné hledat úspory provozních nákladů za technologie až po zabezpečení kvality vnitřního klimatu. Dle výzkumu je také důležitá možnost individuální regulace vedoucí k vyšší spokojenosti. Pokud má uživatel možnost naprogramované akce přerušit nebo upravit dle vlastních požadavků, zvýší se i jeho produktivita práce. [27]

Individuální ovládání se využije i v případě selhání řídící jednotky. Aby výpadek pak nepostihl celou budovu, využívá se více řídících jednotek s odlišnými pravomocemi řízení.

- *Master* – nadřazený člen, který má jednosměrnou kontrolu nad jedním nebo více zařízeními.
- *Slave* – ovládané jednotky, které se typicky starají o část jednotlivých systémů, nad kterými má plnou kontrolu, ale nemůže zasahovat mimo něj.

Pomocí Master/Slave je možné docílit větší spolehlivosti pro řízení větších soustav a také větší nezávislosti na master členu sítě. Jako slave lze typicky nastavit zařízení výrobců specializujících se pouze na část bezdrátové automatizace. Z výše zmíněných například Philips Hue Bridge kontrolující osvětlení nebo Loxone Air Miniserver specializující se na automatizaci domácností.

2.6.1 Samsung Smarthings Hub

Pro chytrou správu domácností se hojně používá řídicí jednotka od společnosti Samsung. Díky podpoře velkého množství zařízení je možné ji použít i jako kontrolér menších komerčních sítí. Je schopený komunikovat v standardech Z-Wave, ZigBee a wifi. Dokáže tedy řídit široké spektrum zařízení. V aplikaci Smarthings se pak mohou nastavovat vazby mezi zařízeními periferní úrovně. Aplikace je ale přístupná pouze ze zařízení s operačním systémem Android nebo iOS. Na druhou stranu správa při menším počtu členů je jednoduchá a nejsou vyžadovány širší znalosti přesahující instrukce v manuálu. Pro rozsáhlejší síť je ale složité nastavovat vazby mezi více zařízeními a systém se stává velice nepřehledným. Pro omezení těchto nedostatků je možnost použít MQTT bridge, který umožní vytvářet schémata v programu třetí strany. Nicméně neumožňuje zásah do softwaru zařízení, který zůstává pouze ve správě společnosti SmartThings.

2.6.2 Schneider Electric MPM

MPM jednotky neboli multi purpose manager vyvinula společnost Schneider Electric. Rozděleny jsou do tří kategorií podle způsobu použití.

- MPM-UN – tento kontrolér je navržen pro získávání informací a řízení koncových prvků. Mohou být použity pro kontrolu drátových i bezdrátových zařízení.
- MPM-VAV – k funkcím UN jednotky přidává kontrolu VAV boxů připojených drátově. VAV boxy ovládají klapky ve vzduchotechnickém kanálu umožňující regulovat přísun vzduchu do místností. Je proto vybaven i diferenčním tlakoměrem.
- MPM-GW – neobsahuje kontakty pro připojení drátových komponentů. Jsou tedy vhodné pro integrování bezdrátových technologií do stávající systémové instalace.

Tyto zmíněné manažery jsou plně programovatelné a jsou navrženy pro napojení na BACnet sběrnici poskytující začlenění do StruxureWare systému firmy Schneider Electric. Jsou plně ovladatelné přes webové rozhraní a mohou řídit ZigBee a EnOcean technologie. Zigbee modul mohou využít i ke komunikaci mezi sebou. Jsou tedy schopny fungovat nezávisle na BACnet síti. Pouze při bezdrátovém provozu by však programování pouze přes webové rozhraní bylo velmi složité a významně by se zvýšily vstupní náklady. Řešením může být například doplnění o další produkt Schneider Electric AS-P, který by figuroval jako server nad těmito podstanicemi a programování tak výrazně zjednoduší. Nicméně musí jej provádět odborný programátor. [28]

2.6.3 OpenHAB

OpenHAB je zkratkou pro Open Home Automation Bus. Je to tedy open source aplikace sdružující různé možnosti automatizace budov, především pro domácí využití. Právě zařízení pro domácnosti mohou nabídnout velmi rychlou a snadnou instalaci a také nízkou cenu. Nevýhodou je pak kratší dosah. Ten však pro budovy ve staré zástavbě plně dostačuje, protože se ve většině případů jedná o kancelářské budovy s malými místnostmi a může se tak využít mesh topologie. Tento otevřený systém je možné upravovat v jazyce Java a tím se vytrácí nevýhody výše zmíněných zařízení. K provozu je ale potřeba Java Virtual Machine, čímž může být systém postavený na 32/64 bitové architektuře nebo ARM. Mezi takové zástupce patří například Raspberry Pi, počítač, který je právě s programem OpenHABian často spojen. Vytváří tak modifikovatelnou řídicí jednotku pro měření a regulaci.

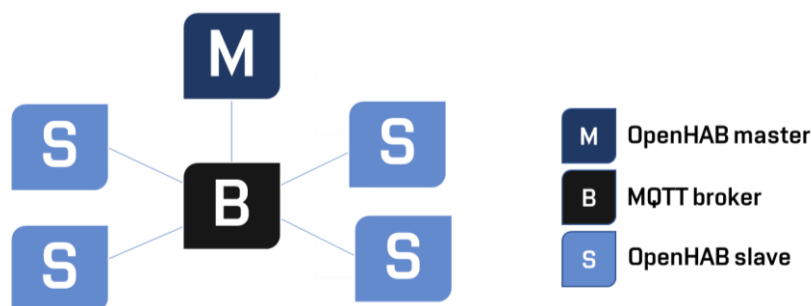
2.6.3.1 Raspberry Pi

Raspberry Pi byl vyvinut za účelem podpory informatiky na školách jako nástroj, pomocí kterého je možné řídit nebo vyvíjet různá zařízení. Dnes je již na výběr mnoho modelů těchto jednodeskových počítačů, z nichž všechny jsou velice úsporné. Současně nabízené jednotky mají jmenovitý výkon od 0,8 do 4 W a hodí se tak pro bezdrátovou automatizaci budov. Díky velkému výběru modelů je možné zvolit vhodnou variantu pro navrženou síť. Například model 3B má čtyři USB porty a je tak možné připojit vysílače pro ZigBee, Z-Wave, EnOcean a další současně. Díky zabudovanému wifi modulu jsou také schopny komunikovat mezi sebou nebo v případě větších datových toků je možné je propojit ethernetovým kabelem. Pomocí těchto funkcí je tedy jednoduché bezdrátovou síť postupně rozšiřovat.

2.6.3.2 OpenHAB pro komerční využití

Z důvodu, že tento otevřený software je primárně určen pro domácnosti, tak neumožňuje rozdělovat práva pro skupiny uživatelů a uděluje každému uživateli přístup administrátora. Přístup se tedy zamítne všem kromě správce sítě a uživatelům tak zbude kontrolovat vnitřní prostředí pouze pomocí koncových zařízení, které se ale po ukončení scény (například nastavené podle pracovní doby) přepnou do původního nastavení. To může být vhodné řešení pro velké open-space kanceláře. Pro menší sdílené prostory je vhodnější dát individuální přístup některým, nebo každému uživateli prostřednictvím rozvrhu, kde si nastaví, kdy místnost bude využita a kdy bude prázdná a zamezí se tak příchozím do nevytopené kanceláře nebo se naopak zbytečně nebude místnost vytápět v případě, že má zaměstnanec den volna. Takovéto řešení nabízí práce [29], kde si uživatele použitím rozvrhů v CalDAV kalendáři nastaví, kdy bude místnost využita. Dále je v této práci rozdělen přístup pro uživatele k částem sítě umožňující upravit si systém pro každou místnost zvlášť bez nutnosti zásahu administrátora. Toto řešení tak pomáhá neplýtvat energiemi a přispívá k pocitu spokojenosti a komfortu uživatelů.

Pro správné fungování větších systémů je také nutné mít dobré pokrytí a dostatečné množství slave jednotek, aby byla zajištěna stabilita. K tomu se mohou využít jednodeskové počítače s nainstalovaným programem OpenHABian ovládané přes MQTT broker. Podle velikosti sítě se poté volí výpočetní výkon master jednotky. Tou může být stolní počítač nebo opět Raspberry Pi s integrovanou SD kartou pro zálohování. [29]



Obrázek 2-7: Komunikace v systému OpenHAB pro větší počet zařízení

3 Modelový návrh

Pro řešení řízení technologií stávajících budov je zvolen systém OpenHAB. Podporuje totiž velké množství zařízení pro domácí využití, které jsou pro tuto diplomovou práci klíčové. Ta je zaměřena na snížení energetické náročnosti kancelářských prostorů ve staré zástavbě, kde tato zařízení umožní jednoduchou a rychlou instalaci stejně jako v domácnostech. Mnoho zařízení vyjmenovaných v předchozích částech jsou využitelné ale i pro ostatní objekty, kde by bylo nákladné použít drátové řešení, například pro historické veřejné budovy. Tam je nutné klást větší důraz na dosah zařízení a případně použít větší množství routerů nebo opakovačů signálu. V kancelářských budovách při správné volbě zařízení problém s dosahem nehrozí, protože je zde velké množství členů, které vytváří robustní mesh síť. Při použití různých protokolů se ale hustota pokrytí může vytratit a je potřeba dosah na všechny členy sítě ověřit v programu OpenHAB. Zvolení více protokolů je při návrhu komplexních systémů v mnoha případech nevyhnutelné, a to kvůli neexistujícím zařízením pro danou technologii nebo kvůli nižším nákladům a lepší stabilitě systému. Potom je třeba zamezit vzájemného ovlivňování vysíláním na různých frekvencích nebo umístěním vysílačů daleko od sebe, aby nedocházelo k rušení popsanému v kapitole o komunikačním protokolu ZigBee.

3.1 Řešení pro celou budovu

Modelový návrh se zaměřuje na navržení automatizace technologií pro celou budovu. V modelové budově je obsažen zdroj tepla i vzduchotechnika a je počítáno, že se budou řídit jednotlivá patra zvlášť pomocí jednodeskových počítačů Raspberry PI 3B+. Celé navržené schéma je v příloze A, kde jsou počítače propojeny síťovým kabelem k MQTT brokeru, který zajišťuje komunikaci master-slave s řídicí jednotkou. V případě neproveditelnosti drátového spojení je možná bezdrátová komunikace přes wifi routery, které by byly separovány od veřejné wifi sítě kvůli vyššímu zabezpečení. Jako nadřazený člen může být zvolen stejný jednodeskový počítač jako pro jednotlivá patra. Pro vyšší výpočetní a zálohovací výkon je ale počítáno se stolním počítačem s operačním systémem Ubuntu a nadstavbou OpenHABian umožňující jednoduchou správu sítě. S takovým rozložením jsou patra na sobě nezávislá a v případě výpadku jednoho počítače nespadne celá soustava. Vzdálený přístup je pak možný přes aplikaci OpenHAB pro operační systémy Android a iOS. Aplikace má po přihlášení přístup administrátora a pokud by bylo třeba dělit oprávnění přístupu na jednotlivá patra, musela by se vytvořit nová aplikace podporující více účtů.

3.1.1 Zařízení pro správu budovy

Při výběru zařízení byl kladen důraz hlavně na jednoduchost instalace, aby se omezila nákladná specializovaná práce. Při tomto návrhu bylo také potřeba zvolit více komunikačních protokolů, a to hlavně kvůli zařízení pro ekvitermní regulaci, kterých na trhu mnoho není. Aby se zabránilo rušení od měřidel, která vysílají téměř nepřetržitě, je použit jiný protokol i zde. Ta komunikují na frekvenci 2,4 GHz, takže nebudou rušit bránu Phillips Hue, která podporuje 868 MHz. Tato brána je implantována do sítě kvůli použití protokolu Z-Wave, který vysílá na stejné frekvenci a je tak vhodné umístit je dále od sebe. Právě přes vysílače je datový tok největší a je zde největší riziko rušení. Pro umístění ostatních zařízení omezení umístění neplatí. Platilo by pouze, kdyby u senzorů bylo nastaveno časté informování o vnitřních podmínkách. V kancelářských budovách však stačí vysílat v rádech minut, což má pozitivní vliv i na životnost baterie.

Pro ovládání ZigBee osvětlení byl použit Z-Wave nástěnný vypínač. Takové řešení se může zdát netypické, ale kvůli přítomnosti zařízení napájených pouze na baterii bylo nutné použít alespoň jeden Z-Wave prvek v každé místnosti připojený do sítě, který zároveň bude fungovat jako router pro zařízení mimo dosah vysílače napojeného na patrový OpenHAB. Pro osvětlení jsou zvoleny žárovky se schopností změny barvy, které umožní nastavit uživatelsky přívětivou teplotu barev. V závislosti na senzoru intenzity světla také mohou upravit svůj výkon na požadovanou úroveň.

Větrání využívá VAV systému s klapkami EV 100. V každé místnosti musí být alespoň dvě, jedna pro přívod a druhá pro odvod vzduchu. Klapky jsou otevírány nebo zavírány podle koncentrace oxidu uhličitého. Tím se mění tlak ve vzduchotechnickém kanále a jednotka tak reguluje svůj výkon. V případě vyvětrání všech místností a uzavření všech klapek je možno jednotku odstavit pomocí zařízení smart-me, které je zároveň měřidlem a poskytuje tak informace o spotřebované energii pro systém větrání.

Jednotka Unireg 100 reguluje teplotu otopné vody vedoucí do soustavy na základě venkovní teploty. Pro zpětnou vazbu je umístěno čidlo teploty v referenční místnosti a může se tak upravovat ekvitermní křivka. Tyto teplotní senzory používají bezdrátovou technologii LoRa, která má dosah i několik kilometrů. U zařízení napájených baterií je však výrazně menší a výrobce udává dosah 300 metrů umožňující zvolit teoreticky jakoukoli místnost za referenční. V případě přidání průtokoměru k systému vytápění je měřitelná i spotřeba tepla. Instalace by však omezila jednoduchost zavedení nebo by se musel použít ultrazvukový průtokoměr, který je velmi drahý.

Ostatní průtokoměry, pokud mají pulzní výstup, mohou být připojeny k zařízení, které transformuje signál do bezdrátového standardu. Takovým je například zařízení Develco meter interface, které je na obrázku připevněno k plynoměru. V případě, že pulzní výstup zařízení nemá, je měřič schopen rozpoznat i intenzitu blikání LED diody. Pro měření spotřeby elektřiny je v návrhu využít třífázový měřič Climax, který je možné zabudovat do rozvaděče a usnadní tak rozpočítávání spotřeby elektrické energie v budově.

Pro modelový návrh byla použita i řada Z-Wave zařízení, jejichž funkci OpenHAB po párování rozezná. Pro ostatní zařízení, jelikož nejsou v domácnostech příliš používána, je nutné jejich integraci dopracovat v jazyce Java, aby správně fungovala. Zpravidla platí, že čím dražší zařízení je, tím jednodušší je jeho začlenění do systému. Ceny použitých zařízení jsou uvedeny v tabulce 3-1. Ty jsou však pouze orientační, protože závisí na počtu objednaných kusů.

Tabulka 3-1: Seznam zařízení pro modelový návrh

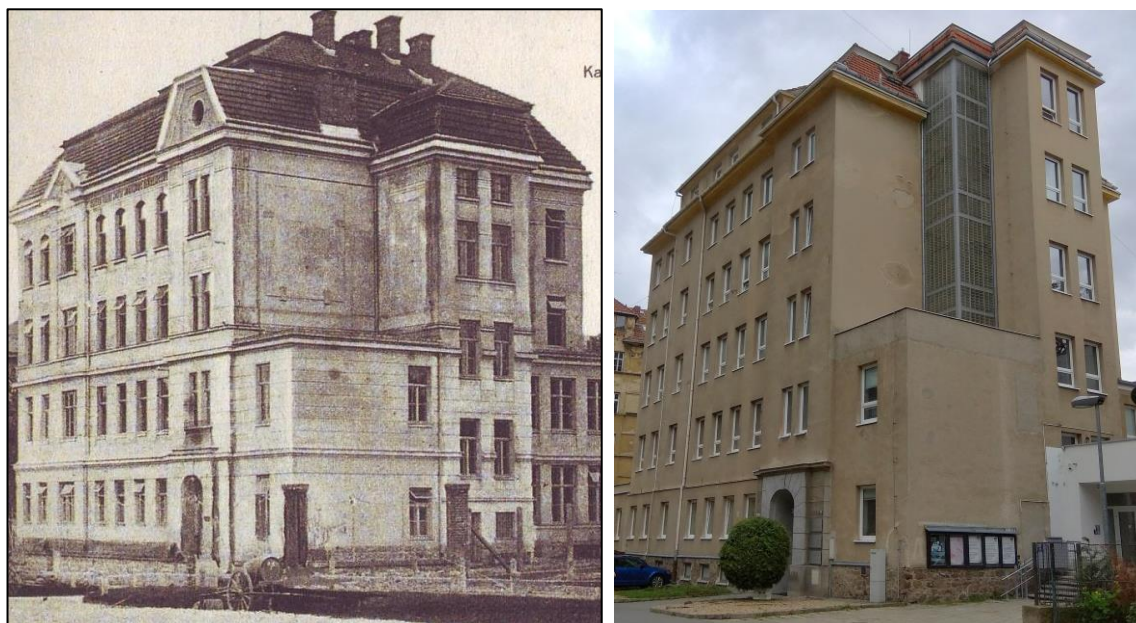
Název zařízení	Komunikační protokol	Cena	Napájení
Climax třífázový měřič	ZigBee	1800	ze sítě
Develco měřič pulzů	ZigBee	3400	baterie
Smart-me	Wifi	8500	ze sítě
Afriso Unireg	Wifi	15000	ze sítě
EcoNet EV100	Z-Wave	2000	baterie
Senzor pohybu	Z-Wave	900	baterie
Senzor teploty a vlhkosti	Z-Wave	800	baterie
Senzor koncentrace CO ₂	Z-Wave	3100	baterie
Nástěnný vypínač	Z-Wave	1100	ze sítě
Senzor intenzity světla	Z-Wave	1000	baterie
Philips Hue	Wifi	1500	ze sítě
LED osvětlení	ZigBee	700	ze sítě

Pro větší úsporu energií je výhodnější navrhnout systém měření a regulace pro celou budovu. Sníží se tak jednotková cena za zařízení a cena za programování bude představovat menší část celkové sumy. Čas potřebný k naprogramování prvního nepodporovaného zařízení je stále stejný a další zařízení se integrují obdobně, kdy není nutná hlubší znalost programovacího jazyka.

Při návrhu řešení pouze pro část budovy je tak kladen větší důraz na cenu zařízení a také na podporu zařízení programem OpenHAB. Proto pro následující návrh jsou primárně použity komponenty, u kterých program rozpozná jejich funkci, jejichž seznam je na webové stránce ze zdroje [30].

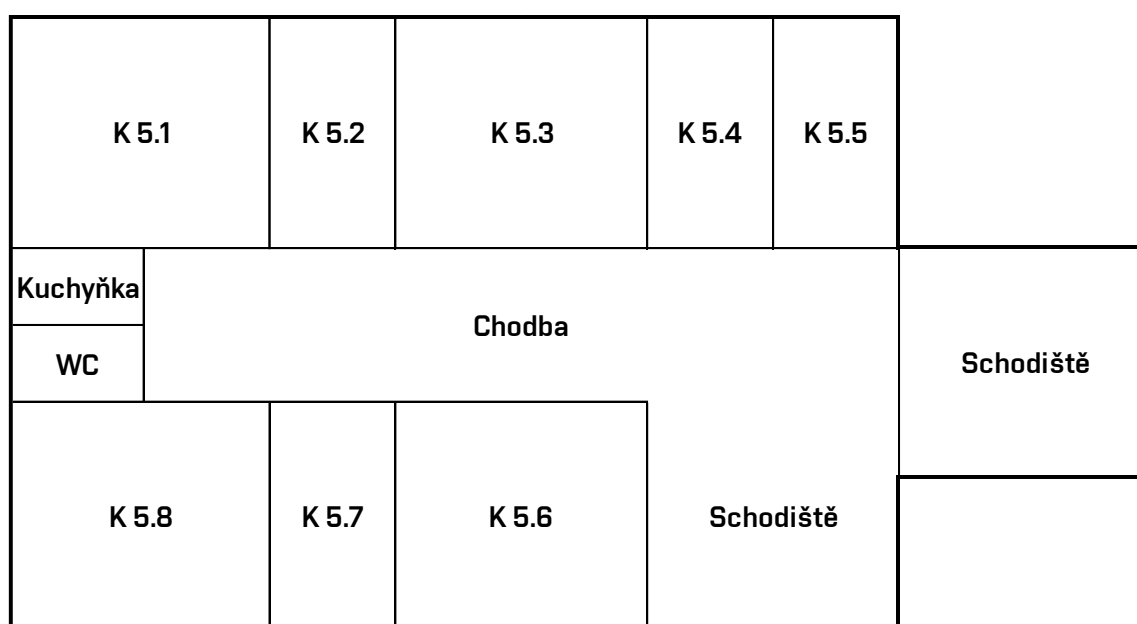
4 Návrh řešení pro konkrétní budovu

Řešení obsahuje výpočet nákladů na zavedení systému automatizace budov, spočítání úspor a zhodnocení návratnosti je navrženo pro páté a šesté patro budovy z 19. století. Ta tehdy byla pouze 3 patrová s podkrovím, viz obrázek 4-1. Později bylo přestavěno podkroví na podlaží se stejnou užitnou plochou jako patra pod nimi a nad ním bylo vytvořeno další střešní patro s dlouhým vikýřem. Do současné podoby se budova dostala, když se ještě o jedno patro zvýšila a vznikly také kancelářské prostory v suterénu, tedy i v šestém patře.



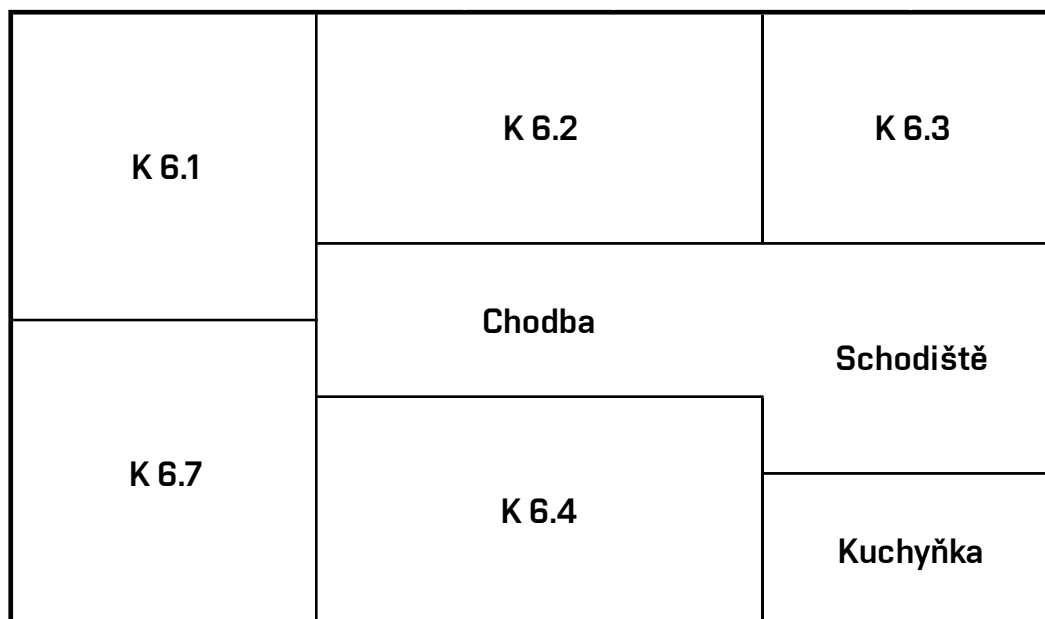
Obrázek 4-1a: Foto budovy – okolo roku 1910; 4-1b: Foto budovy – současnost

Rozložení jednotlivých místností je schematicky zakresleno v obrázcích 4-2 a 4-3. Přístup do všech místností je z chodby.



Obrázek 4-2: Schematický náčrt pátého patra

Schodiště na obrázku 4-3 spojuje pouze paté a šesté patro a druhé schodiště na obrázku 4-2 vede do ostatních pater v budově.



Obrázek 4-3: Schematický nákres šestého patra

4.1 Charakteristika provozu

Pro potřeby výpočtu energetické náročnosti v další kapitole je nezbytné mít co nejvíce informací o provozu a vlastnostech počítaného objektu nebo jeho části.

Prostory budovy jsou využívány jako kancelářské a nejvytíženější tedy jsou od osmé hodiny ranní do páté hodiny odpolední. V tuto dobu se v objektu nachází nejvíce lidí a teplota je nastavena na komfortní. Zaměstnanci také přispívají k vnitřní tepelné zátěži, která je v zimních měsících žádaná a v letních měsících tomu je naopak. Muž při kancelářské činnosti a teplotě 24 °C produkuje přibližně 80 W citelného tepla. Žena produkuje 85 % této hodnoty. Na každého z 25 zaměstnanců (17 mužů, 8 žen) pak připadá jeden stolní počítač s monitorem. Vypočítané vnitřní zisky jsou znázorněny v tabulce 4-1, na které navazuje získané teplo od osvětlení v následující podkapitole.

Tabulka 4-1: Vnitřní tepelné zisky od lidí a elektroniky

Tepelný zisk	Počet	Produkce [W]	Celkem [W]
Lidi	8+17	80	1904
Počítač	25	170	4250

4.1.1 Osvětlení

Osvětlení je řešeno převážně zářivkovými trubicemi. Ty se nachází ve všech kancelářích a na chodbě v šestém patře. Pomocí šedesátivattových žárovek jsou osvětleny pouze zřídka požívané místnosti jako je WC a kuchyňka. V chodbě v pátém patře pak jsou na stropě připevněny LED panely o celkovém výkonu 96 W.

Tabulka 4-2: Seznam typů osvětlení a jejich výkon

Typ svítidla	Výkon (W)	Počet	Součinitel současnosti	Celkový výkon (W)
LED panel	12	8	1	96
Žárovka	60	3	0,25	45
Zářivka	36	88	1	3168
			Výkon osvětlení dohromady:	3309

Ve výpočtu je nastaveno, že pokud v pracovní době klesne intenzita osvětlení pod 500 lux, tak jsou zapnuta všechna kancelářská a chodbová svítidla. Žárovky jsou v provozu mnohem menší dobu a je pro ně použit oproti ostatním světům koeficient současnosti roven 0,25. Maximální počítaný výkon osvětlení je tedy 3309 W, který je v případě nedostatečné intenzity světla využit naplno a v případě intenzity nad 500 luxů je výkon nulový, protože zde není možnost spouštět jednotlivá svítidla postupně.

4.1.2 Vytápění

Spotřeba tepla na vytápění úzce souvisí s prostupem tepla skrz vnější stěny. Z důvodu rekonstrukce je materiál stěn pátého a šestého patra odlišný od zbytku budovy. Obvodové stěny jsou z větší části zakryty krytinou a nacházejí se zde střešní okna. V horním patře jsou instalována modernější okna s nižším koeficientem přestupu tepla než o patro níž, kde jsou střešní okna s jednoduchým zasklením doplněna o plastová eurookna ve vikýřích. Počet oken a jejich vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4-3.

Tabulka 4-3: Seznam oken v objektu

Typ	Plocha (m ²)	Počet (ks)	Koeficient přestupu tepla (W/m ² ·K)
Euro okno	1,32	9	2,2
Střešní okno 5. NP	0,7	16	5,2
Střešní okno 6. NP	0,91	10	1,3

Kvůli nepřítomnosti vzduchotechniky jsou okna společně s netěsnostmi jediným elementem, který přivádí do místnosti čerstvý vzduch, a protože není přítomen žádný senzor, který by indikoval potřebu větrání, je počítáno s doporučenou intenzitou výměny vzduchu 0,5 h⁻¹. Od té je odečten vzduch, který se do objektu dostane infiltrací (0,15 h⁻¹), zvolený na základě typů oken a stavební konstrukce obvodových stěn, uvedený v tabulce 4-4. Materiál stěn také značí, že objekt má velkou tepelnou kapacitu a má proto velkou tepelnou setrvačnost.

Tabulka 4-4: Typy stavebních materiálů v objektu

Typ stěny	Materiál	Tloušťka (cm)
Obvodová stěna vertikální	Omítka, plná cihla, sádrokarton	50
Obvodová stěna zkosená	Krytina, dřevo, izolace, sádrokarton	50
Vnitřní stěna	Plná cihla, sádrokarton	15
Podlaha	Beton, koberec	35
Střecha	Krytina, dřevo, izolace, sádrokarton	50

Současné řízení vytápění se provádí prostřednictvím hlavice s termostatickým ventilem osazených na každém radiátoru. Průměrná teplota v místnostech v době užívání je 22 °C. Útlumová teplota nemůže být vlivem dlouhého zátoku nižší než 20 °C, protože doba vytopení z útlumové teploty na komfortní se v nejchladnějších měsících pohybuje okolo dvou hodin a uživatel by musel po příchodu do práce sedět dlouhou dobu v nevytopené místnosti. Ve výpočtu je také zahrnut faktor, kdy zaměstnanec zapomene nastavit termostatickou hlavici na nižší stupeň. Dle informací z firmy se tak děje v padesáti procentech případů a útlumová teplota je proto nastavena na 21 °C.

Otopnou soustavu tvoří celkem 20 radiátorů, kde převážnou část tvoří typy VK 20 různých rozměrů. Jednodeskový radiátor je použit pouze jeden. Celkový výkon těles zobrazený v tabulce 4-5 je počítán při teplotním spádu 75/65 a vnitřní teplotě 22 °C. Ten dostačuje i během nejchladnějších dní v průběhu měsíce ledna a je vhodný pro provozování soustavy s malým rozdílem mezi komfortní a útlumovou teplotou.

Tabulka 4-5: Výkon radiátoru

Název místnosti	Výkon radiátoru [W]	Název místnosti	Výkon radiátoru [W]
K 5.1	2400	K 6.1	1650
K 5.2	600	K 6.2	1890
K 5.3	2130	K 6.3	1425
K 5.4	1065	K 6.6	1185
K 5.5	2400	K 6.7	1650
K 5.6	1650	Kuchyňka 6 NP	435
K 5.7	600	Chodba 6 NP	720
K 5.8	2400	Celkem	22200

4.1.3 Chlazení

Chlazení v letních měsících je zajištěno split jednotkami Daikin, jejichž parametry jsou uvedeny v tabulce 4-6. V pátém patře je multisplit systém a vnitřní jednotky se nachází ve všech kancelářích kromě K 5.3. V šestém patře je jednotka umístěna pouze na chodbě a chlad se šíří do ostatních místností otevřenými dveřmi.

Tabulka 4-6: Parametry split systému

Patro	Typ vnitřní jednotky	Počet	Chladicí výkon [kW]	Spotřeba elektřiny [kW]	Chladicí faktor
5.	FTXS20K	7	14	3	4,65
6.	FTXM60N	1	6	1,4	4,3

Jednotky v 5. patře jsou nastaveny na udržování teploty 24 °C a jednotka v 6. patře je nastavena na 22 °C, aby se chladný vzduch dostal do všech kanceláří. Chlazení ani v nejteplejších dnech nejede na maximální výkon. Výpočtová teplota je tedy zvolena na 23 °C jako střední hodnota teplot v patrech. Spodní patro má sice větší rozměry, ale patro horní bude mít vyšší tepelné zisky v letních měsících. Všechny split jednotky jsou řízeny týdenním časovačem. To znamená, že jsou zapnuty i v případě nepřítomnosti či státních svátků, kdy se v objektu nikdo nenachází.

4.2 Energetická náročnost

Spotřeba energií je spočítána v programu TRNSYS Simulation Studio. V softwaru se nastavily rozměry budovy a rozměry otvorů v budově směřující na jednu ze světových stran, u nichž se upravily hodnoty dle typu okna. Stejný postup se použil i pro obvodové stěny. Následně se přidaly rozměry a materiál vnitřních stěn a podlah, aby se zvýšila celková tepelná kapacita konstrukce. Pro vnější podmínky je zvolen model počasí pro obec Kuchařovice, která se nachází 50 km severozápadně od Brna a je počítáno, že toto klima je srovnatelné. Model však neobsahuje extrémní teploty, které panují posledních několik let, ale používá vyhodnocená data z let 2000–2009. Model nejenže určuje venkovní teplotu, ale také směr a intenzitu slunečního záření a mnoho dalších hodnot, které však pro výpočet nejsou tak podstatné.

Nastavení řízení technologií se provedlo dle předchozí kapitoly a zadal se výkon osvětlení, vytápění a chlazení. Nakonec se spustil výpočet pro celý rok, ze kterého se vyjmuly některé hodnoty, jako je chvilkové zapnutí chlazení v květnu nebo vytápění po skončení topné sezony. Tyto hodnoty následně byly odečteny od zisků. V případě chlazení v květnu byl odečten jeho výkon od produkce tepla apod.

Nasimulované hodnoty jsou zpracované v programu Excel, který se nachází na příloženém CD, kde na prvním listu jsou měřené hodnoty a na listu 1S je spočtena spotřeba energií po měsících, která je doplněna o celkovou spotřebu za rok.

4.2.1 Spotřeba energií dle vyúčtování

Pro simulovanou část budovy jsou k dispozici data o spotřebě elektřiny i vytápění za celý rok 2018. Tyto údaje je tedy možné porovnat s vypočtenými hodnotami v programu Transys. Zpracované hodnoty jsou v tabulkách 4-7 a 4-8.

Tabulka 4-7: Spotřeba elektřiny v průběhu roku

Měsíc	Spotřeba elektřiny		Cena za kWh	Měsíc	Spotřeba elektřiny		Cena za kWh
	5NP	6NP			5NP	6NP	
1	1023	1178	2,35	7	1056	1385	2,61
2	1050	1071	2,49	8	1477	1652	2,56
3	1462	1145	2,52	9	887	1111	2,63
4	1067	1115	2,67	10	1134	1319	2,53
5	914	1303	2,66	11	967	1027	2,47
6	956	1293	2,65	12	977	1105	2,52
Spotřeba celkem				27674 kWh			
Průměrná cena za kWh				2,55 Kč			
Cena bez DPH				70700 Kč			

Pro cenu za elektřinu byla v každém období jiná cena za MJ. Pro výpočet spotřeby tak byla zvolena průměrná hodnota, protože se hodnoty v průběhu roku výrazně neliší a není tak třeba použít vážený průměr. Cena 2,55 Kč/kWh bude využita pro výpočet nákladů ze simulace.

Při vyúčtování tepla byla cena za množstevní jednotku v každém čtvrtletí stejná (464 Kč/GJ). Jelikož se cena účtuje podle kancelářské plochy, tak se při výpočtu využil opačný postup než u výpočtu spotřeby elektřiny a potřeba tepla byla vypočítána z celkových nákladů. To znamená, že není použita reálná hodnota. Pro porovnání se simulací je však použit předpoklad, že se o roční spotřebu jedná. Tento předpoklad je možné použít, protože horní dvě patra byla dobudována později a je zde tedy nižší proudění tepla skrz metr čtvereční.

Tabulka 4-8: Cena za teplo v průběhu roku

Měsíc vyúčtování		Březen	Červen	Září	Prosinec	Celý rok
Cena tepla [Kč]	5NP	23452	1027	0	14709	39188
	6NP	10789	473	0	6773	18035
Cena celkem		34 241 Kč	1 500 Kč	0 Kč	21 482 Kč	57 223 Kč
Spotřeba za účt. období		20498,6 kWh	897,9 kWh	0	12860,3 kWh	34257 kWh

4.2.2 Spotřeba energií dle programu Trnsys

Pro rozpočítání elektřiny jsou nezbytné údaje o spotřebě osvětlení, chlazení a ostatní zdrojů. Jako jediný typ dalšího zdroje je do simulace přidána výpočetní technika. Ta má tepelný výkon 170 W na jeden počítač. Celkový výkon je tedy 4250 W. Pro simulaci je použit předpoklad, že spotřeba elektřiny počítače se rovná jeho tepelnému výkonu. Tento výkon je tedy spotřebován v průběhu pracovní doby a pro každý pracovní den je konstantní. Spotřeba počítačů za celý rok tak činí necelých 11 kWh.

Tabulka 4-9: Spotřeba energií dle simulace programu Trnsys s rozdílným modelem spotřeby elektrické energie od současného stavu

Měsíc	Teplo [kWh]	Elektřina chlazení [kWh]	Elektřina osvětlení [kWh]	Elektřina počítače [kWh]
1	7402,98	0,00	786,89	-
2	5754,34	0,00	622,67	-
3	4431,50	0,00	540,56	-
4	1990,91	0,00	383,18	-
5	718,83	82,29	232,65	-
6	0,00	219,17	249,75	-
7	0,00	418,61	212,12	-
8	0,00	350,76	280,54	-
9	262,37	95,48	455,03	-
10	2129,30	0,00	622,67	-
11	4814,12	0,00	749,25	-
12	6788,52	0,00	718,46	-
Spotřeba za rok [kWh]	34292,87	1166,32	5853,76	10950,00
Spotřeba za rok [GJ]	123,45			
Cena za MJ [Kč]	464	2,55	2,55	2,55
Cena bez DPH [Kč]	57282,81	2974,10	14927,08	27922,5
		Cena za elektřinu celkem		
		45 824 Kč		

Při srovnání spotřeby tepla v tabulkách 4-8 a 4-9 a zahrnutí výše zmíněných předpokladů zjistíme, že výpočtový model pro vytápění je správný.

U spotřeby elektřiny se však hodnoty významně liší, což ve výsledné ceně za elektřinu představuje 35% rozdíl. Model se tak významně liší od skutečnosti. To je pravděpodobně zapříčiněno podceněním spotřeby elektřiny za ostatní zařízení, jako jsou kuchyňské spotřebiče, nabíjecí adaptéry a serverovna včetně jejího chlazení a datové Racky, od kterých nebyla dostupná data, ale jsou významnými spotřebiči energie. Navíc nebyl započten výkon počítačů ve stand-by režimu. Ta může být dle [31] až 15 W, což znamená, že pro 25 zařízení bude celkový výkon 375 W. Za celý rok to pak je necelých 2000 kWh, a to při celkové spotřebě elektřiny 17970 kWh není zanedbatelné. Rozdíl mezi modelovanou spotřebou a současností je okolo 10 kWh. Připočtením 2 MWh ze stand-by režimu je rozdíl 8 MWh.

V simulaci se výrazně mění celková spotřeba v jednotlivých měsících, která se při pohledu na tabulku 4-7 v současném stavu kromě letních měsíců příliš neliší. To znamená, že osvětlení bylo vypínáno příliš často a intenzita osvětlení musí být nastavena na hodnotu vyšší než 500 lux.

Jelikož všechna elektronika generuje tepelný výkon ekvivalentní tomu elektrickému, je nutné přepočítat celý model z důvodu vyšších tepelných zisků. To znamená, že se sníží potřebný tepelný výkon a je nutné mírně zvýšit tepelné ztráty. Je tedy počítáno, že v objektu je vyšší intenzita výměny vzduchu než jednou za dvě hodiny, čímž se zvýší tepelná ztráta větráním.

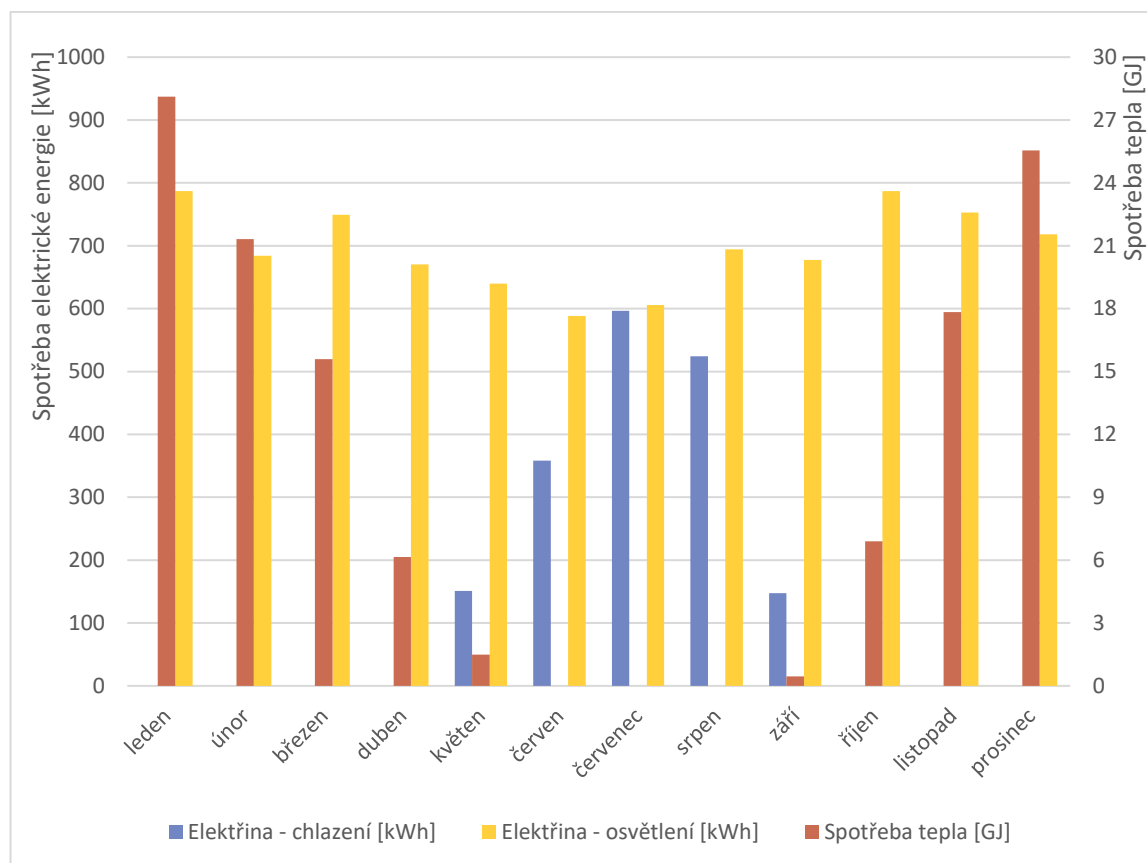
Aby model odpovídal reálné spotřebě elektřiny, byl kromě stand-by režimu počítačů připočten i výkon dvou lednic, které mají průměrný celkový výkon 370 W. Společně s počítači je jejich spotřeba přes 17 MWh, což představuje nárůst o 70 %. Také se zvýšila spotřeba osvětlení kvůli nastavení vyšší intenzity osvětlení na 800 lux. S tímto se současně, zvýšili tepelné zisky a stoupla potřeba chlazení o více než 50 %.

Tabulka 4-10: Spotřeba energií dle simulace programu Transys s modelem odpovídajícím aktuální spotřebě energií

Měsíc	Spotřeba tepla [kWh]	Elektřina - chlazení [kWh]	Elektřina - osvětlení [kWh]	Elektřina - elektronika [kWh]
1	7808,69	0,00	786,89	-
2	5923,26	0,00	684,25	-
3	4329,14	0,00	749,25	-
4	1709,24	0,00	670,56	-
5	413,63	150,81	639,77	-
6	0,00	358,42	588,45	-
7	0,00	596,31	605,56	-
8	0,00	524,40	694,51	-
9	127,08	147,58	677,41	-
10	1914,09	0,00	786,89	-
11	4952,67	0,00	752,67	-
12	7096,75	0,00	718,46	-
Spotřeba za rok [kWh]	34274,56	1777,51	8354,69	17100
Spotřeba za rok [GJ]	123,39			
Cena za MJ jednotku	464,00	2,55	2,55	2,55
Cena bez DPH [Kč]	57252,23	4532,64	21304,47	43605,00
		Cena za elektřinu celkem		
		69 442 Kč		

Z porovnání modelu spotřeby v tabulce 4-10 s tabulkami vyúčtované spotřeby (4-7, 4-8) je patrné, že simulace se přiblížila skutečnosti a je možné ji dále použít jako model navržených řešení. Simulovaná spotřeba elektřiny je nejvyšší v měsíci srpnu, což odpovídá skutečnosti. V modelu také došlo ke zpřesnění výpočtu potřeby tepla. Za rok 2018 představovaly měsíce leden až březen a říjen až prosinec 97 % celkové spotřeby. Dle upraveného modelu je to 93,5 %, což oproti předchozímu výpočtu znamená 2,5% zlepšení.

Na obrázku 4-4 je naznačen vývoj současné spotřeby elektřiny a tepla, který je posléze porovnáván s navrženými řešeními. Zde je vidět že osvětlení je významný zdrojem tepla v průběhu celého roku a v zimních měsících snižuje potřebný výkon otopných těles. V měsíci červenci a srpnu zase z tohoto důvodu musí být ekvivalentní množství tepla odváděno do okolního prostředí. Celková spotřeba elektřiny za chlazení však dle modelu není vysoká a roční náklady jsou pouze 4500 Kč.



Obrázek 4-4: Spotřeba energií v jednotlivých měsících dle modelu současného stavu

4.3 Návrh řešení

Stejně jako pro modelový návrh je i pro řešení řízení technologií části budovy zvolen systém OpenHAB. V tomto případě není potřeba mít více kusů jednodeskových počítačů, protože se jedná o síť pouze s 87 zařízeními v rozšířeném návrhu. Výpočetní výkon tohoto počítače pro tuto konfiguraci dostačuje a jako vnitřní paměť je použita SD karta s velkou přenosovou rychlostí. Tu je možné využít i pro zálohování, případně se data mohou zálohovat po wifi síti do některého z připojených počítačů. Vzdálený přístup je umožněn pouze počítačům připojeným ke stejné síti a pro přístup mimo budovu se využije VPN síť. K Raspberry PI je možné připojit monitor, klávesnici i myš. Jedná se tedy o kompletní řídicí stanici, která může vizualizovat a kontrolovat celou síť. Pro kontrolu je možné také využít funkci OpenHAB Panel, která umožňuje nakonfigurovat například tablet, na jehož obrazovce se nastaví tlačítka s různou funkcí nebo bude poskytovat informace o vnitřním prostředí. Pro návrh jsou však vybrána pouze zařízení nezbytná pro fungování celé sítě kvůli snížení počáteční investice. Z tohoto důvodu byla vybrána řada ZigBee zařízení pocházejících z asijských trhů, které se vyznačují nízkou cenou. Na druhou stranu je u nich zaručená kompatibilita kvůli bindings, což znamená, že systém OpenHAB rozpozná jejich funkci ihned po spárování. To výrazně sníží cenu za programování.

V návrhu, jehož topologie je v příloze 2, jsou zpracovány dvě varianty. Pro první, základní variantu, jsou použita pouze zařízení umožňující jednoduchou integraci prostřednictvím bindings. Pro druhou, rozšířenou variantu, je potřeba zařízení programovat a nesplňují tak podmínku snadné a rychlé instalace.

4.3.1 Základní varianta

Seznam zařízení, která tato varianta zahrnuje, je v tabulce 4-11, kde pro každé zařízení je uvedena jeho cena a počet zařízení, kterých bude potřeba do dvou uvažovaných podlaží. V případě, že zařízení není napájeno ze sítě, je zmíněná přibližná výdrž baterie ovlivněna tím, jak často je vysílán report. Dále je zmíněn používaný protokol a v neposlední řadě binding, pomocí kterého je zařízení rozpoznáno. Tyto bindings jsou ukládány do paměti Raspberry PI 3B+, který například v případě MAX! eQ-3 rozpozná tyto funkce: set_temp – požadovaná teplota v místnosti, actual_temp – aktuální teplota v místnosti, valve – na kolik procent je otevřený ventil, battery_low – informace o nízkém stavu baterie. Pomocí těchto funkcí jsou pak zařízení konfigurována, obdobně to platí i u ostatních zařízení. Informace o stavu baterie jsou výhodné z hlediska úspory za výměnu baterií. Životnost baterie se může i u stejných typů zařízení značně lišit a zabrání se tak zbytečnému rozebírání zařízení a výměně baterií. Ty v případě zvolených komponentů jsou však velmi levné, protože používají buď AA baterie (termostatická hlavice) nebo plochou baterii CR2450 (Aqara).

Na seznamu v tabulce je vidět mnoho ZigBee zařízení. Ty vysílají na frekvenci 2,4 GHz a je tudíž vhodné nastavit wifi router na kanál, který bude rušit tyto prvky nejméně. Výhodou těchto zařízení však je velmi nízká spotřeba, která se pohybuje v desetinách wattů měsíčně. Z nich největší spotřebu má vysílač Telegesis o maximálním výkonu 0,5 W. U zařízení komunikujících přes wifi je spotřeba násobně vyšší. Ve standby režimu se jejich výkon pohybuje mezi 1 a 2 W.

Zařízení zmíněná níže (kromě osvětlení) mají tedy tak malou spotřebu, že není třeba ji započítávat do tepelných zisků.

Tabulka 4-11: Seznam zařízení pro základní variantu

Název	Funkce	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Celková cena [Kč]	Výdrž baterie	Vysílaný protokol	Binding
Raspberry PI 3B+	Koordinátor	900	1	900	ze sítě	wifi	
Telegesis ETRX3	ZigBee vysílač	1 200	1	1 200	ze sítě	ZigBee	ZigBee Binding
MAX! cube	Brána pro MAX! eQ-3	1 200	1	1 200	ze sítě	max-wifi	MAX! Binding
MAX! eQ-3	Regulace radiátoru	750	20	15 000	2 roky	max	MAX! Binding
Aqara Body & Light	Senzor pohybu a světla	300	19	5 700	rok a půl	ZigBee	Xiaomi Mi Smart Home
Aqara Wall Switch	Volitelné	300	2	600	rok a půl	ZigBee	Xiaomi Mi Smart Home
Aqara Light Switch	Regulace světel (on/off)	550	1	550	ze sítě	ZigBee	Xiaomi Mi Smart Home
Aqara LED bulb	Stmívatelná žárovka	300	3	900	ze sítě	ZigBee	Xiaomi Mi Smart Home
Xiaomi IR remote	Kontrola split pomocí IR	400	8	3 200	ze sítě	wifi	Xiaomi Mi IO Binding
Zemismart 1 Gang	Stmívání světel	450	15	6 750	ze sítě	ZigBee	ZigBee Binding
LED trubice 120cm	Stmívatelná trubice	400	88	35 200	-	-	-
		Základní návrh:		71 200			

4.3.1.1 Řízení osvětlení

Důležitým prvkem a zároveň velice dostupným je vypínač Zemismart 1 Gang umožňující snížit výkon osvětlení. Ten se významně sníží jen samotnou výměnou stávajících zářivek za stmívatelné LED trubice, které mají téměř o 50 % nižší výkon. Pro každou místnost se stmívatelnými trubicemi je tedy zapotřebí jeden vypínač, který nahradí ten původní. Ten také funguje jako router v síti a zajišťuje dosah ZigBee vysílání do všech místností. V případě dvojitých vypínačů se použije Zemismart 2 Gang, který je o 50 Kč dražší. Navržené řešení a jeho výkon je třeba ověřit, protože je provedena výměna osvětlení s nižším světelným tokem 2400 lm. Intenzita je ověřena pro nejméně příznivou místnost (kancelář K 6.1) ze vztahu:

$$E = \frac{\Phi}{S}$$

E...Intenzita osvětlení [lux]

Φ...Světelný tok [lm]

S...Plocha místnosti [m²]

$$E = \frac{4 \cdot 2400}{5 \cdot 3,3} = 582 \text{ lux}$$

Navržené osvětlení má vyšší intenzitu osvětlení než 500 luxů, tudíž vyhovuje. V případě že by byla intenzita nedostatečná, vybrala by se světla s chromatičností světla o vyšší teplotě než navržených 5000 K nebo světla o vyšším výkonu. Ten je v tomto případě dostatečný a nebude tak využíván naplno, protože senzor Aqara Body and Light snímá intenzitu v každé místnosti a v případě naměření intenzity nad 500 luxů (nebo nad hodnotu mírně vyšší, aby se zabránilo časté regulaci) se výkon osvětlení sníží a naopak. Tento senzor navíc detekuje pohyb v místnosti a tak po pár minutách nečinnosti se osvětlení vypne. To také přispěje k výrazně nižším tepelným ziskům, což je potřeba hlavně v letních měsících. Pro následnou simulaci je použita maximální hodnota výkonu osvětlení z tabulky 4-12.

Tabulka 4-12: Výkon nahrazeného osvětlení

Typ svítidla	Výkon (W)	Počet	Součinitel současnosti	Celkový výkon (W)
LED panel	12	8	1	96
LED žárovka	8	3	0,25	6
LED trubice	20	88	1	1760
Výkon osvětlení dohromady:				1862

Osvětlení mimo kanceláře je ovládáno vypínačem v režimu on/off. Pro LED panely na chodbě je jako náhrada stávajícího vypínače použit Aqara Light Switch, který má dvě oddělená tlačítka jako běžný vypínač a ovládá tak dvě větve LED panelů. V případě dostatku světla se při detekování pohybu v místnosti zapne jen polovina světel nebo se nezapne vůbec. LED žárovky mají v patici zabudovaný ZigBee vysílač a využije se stávající vypínač. Jejich výkon pouze bude regulovaný podle chodbového senzoru intenzity osvětlení a pohybu. V případě že žárovku někdo zapomene vypnout, nastaví se její výkon na 0 % prostřednictvím patice. Ta ale v tomto případě bude spotřebovávat proud okolo 5 mA.

4.3.1.2 Řízení vytápění

Vytápění je řízeno na každém otopném tělese zvlášť hlavicemi eQ-3. Ty mohou postupně uzavírat ventil, když se blíží teplota v místnosti teplotě požadované a zabrání tak přetopení a vyšším tepelným ztrátám. Hlavním důvodem instalace je samozřejmě schopnost řízení nezávisle na obsluze. Může taky být nastavena nižší útlumová teplota, bez toho aniž by se snížil tepelný komfort v místnosti. Vytápění se akorát zapne s předstihem, aby při příchodu uživatele byla nastavená požadovaná teplota. Ta je pro simulaci počítána stejná jako v současném řešení (22 °C). Útlumová teplota se pak může lišit výrazněji od současnosti a je navržena na 19,5 °C během pracovního týdne a na 17 °C od konce pracovní doby v pátek do neděle. Další výhodou, která může být využita, je kontrola každé místnosti zvlášť. To lze provést pomocí kalendáře CalDAV, popsaného výše, kde si zaměstnanec nastaví, kdy bude místnost využívána. Je ale nezbytné tuto možnost zakomponovat do programu, což mírně zvýší cenu za programování.

Komunikace mezi hlavicemi a Raspberry PI není přímá. Všechny hlavice jsou připojeny k bráně MAX! Cube, která je snadno spárovatelná se systémem OpenHAB. Bránu je nezbytné použít z důvodu odlišného protokolu používaným u všech výrobků pro domácí automatizaci firmy MAX!. Tyto prvky vysílají na frekvenci 868 MHz, protože jsou určeny přímo pro evropský trh a nejsou rušeny ostatními sítěmi. Mají také velmi malou spotřebu elektřiny, protože uváděný průměrný výkon je 1,5 W, stejný jako průměrný výkon Raspberry PI (při připojení monitoru, klávesnici a myši je 6,7 W). Hlavice MAX! jsou navrženy také jako senzory teploty, čehož se využije při zapnutí chlazení.

4.3.1.3 Řízení chlazení

Jako jediná zařízení v základní variantě komunikující pouze přes wifi jsou Xiaomi IR remote. Ty vysílají infračervené signály, které mohou být nahrány ze stávajícího ovladače nebo staženy do zařízení ze stránek výrobce. Tento ovladač byl vybrán hlavně kvůli ceně a již naprogramovanému bindingu. Mohla být zvolena i dražší varianta v podobě Daikin wifi adaptéru. Ten je ale mírně dražší a pro vysílání signálů on/off plně dostačuje infračervený vysílač. Adaptér by sice mohl posílat data o naměřené teplotě, na to jsou ale navrženy bezdrátové termohlavice, které jsou navíc umístěné skoro v každé místnosti. Navržená teplota je stejná jako doposud a chlazení se zapíná v případě, že teplota stoupne nad 23 °C.

4.3.2 Rozšířená varianta

Rozšířená varianta obsahuje pouze 2 typy zařízení. Jedním je elektrické otevírání oken Vektiva Smarwi a druhým senzor koncentrace CO₂, který je zakomponován do sítě pouze ve dvou kusech z důvodu vysoké ceny.

Tabulka 4-13: Seznam zařízení pro rozšířenou variantu

Název	Funkce	Cena za kus [Kč]	Počet kusů	Celková cena [Kč]	Výdrž baterie	Vysílaný protokol	Binding
Vektiva Smarwi	Otevírání oken	2 500	14	35 000	ze sítě	wifi	Není
GNGC Air monitor	Senzor CO ₂	1 900	2	3 800	ze sítě	wifi	Není
Rozšířený návrh:				38 800			
Celkem základní + rozšířený:			87	110 000			

4.3.2.1 Řízení větrání

GNGC Air monitor je umístěn na chodbě v obou patrech. To znamená, že zachytává koncentraci oxidu uhličitého ze všech místností, který se do chodby dostane skrz otevřené dveře. Koncentrace v ní však bude pravděpodobně nižší než v okolních kancelářích a okna se proto otevrou při nižší naměřené koncentraci než je doporučená hodnota 1000 ppm. Při překročení nastavené hranice se otevrou všechna okna poháněna elektromotorem, aby výměna vzduchu byla co nejintenzivnější. Pro návrh je počítáno s jedním motorem do každé kanceláře, kterých je celkem 14 s tím, že okna ve větších kancelářích se otevrou více než ty v menších, aby se větralo rovnoměrně. Instalace Smarwi je relativně jednoduchá a v případě rovného neznečištěného rámu okna se zařízení může pouze přilepit přiloženou

vysokopevnostní oboustrannou lepicí páskou. Problém akorát může být u hůře uzavíratelných oken, kde může vzniknout netěsnost. Ta se dá vyřešit buď nastavením vyšší přitlačné síly, kde se musí dát pozor na přeskočení zubů, protože jsou z plastu, nebo se může přidat gumové těsnění. Otevírání oken je vhodné řešit v poloze ventilace. Je však možné otevírat okno i do místnosti díky otočnému kloubu na hřebeni. V případě umístění zařízení na horní část okna se ale zvýší riziko netěsností, na druhou stranu je možné si zvolit jak okno bude otvíráno pomocí pootočení kliky na vybranou polohu a to se pak bude otevírat na ventilaci nebo do místnosti.

Díky kombinaci se senzorem oxidu uhličitého se výrazně sníží ztráty větráním. Do prostorů totiž bude přiváděno pouze takové množství vzduchu, aby se udržela hladina koncentrace na stabilní úrovni. Pro simulaci je tedy počítáno, že se přivádí doporučených $25 \text{ m}^3/\text{h}$ na osobu, což sníží potřebu výměny vzduchu na $0,33 \text{ h}^{-1}$.

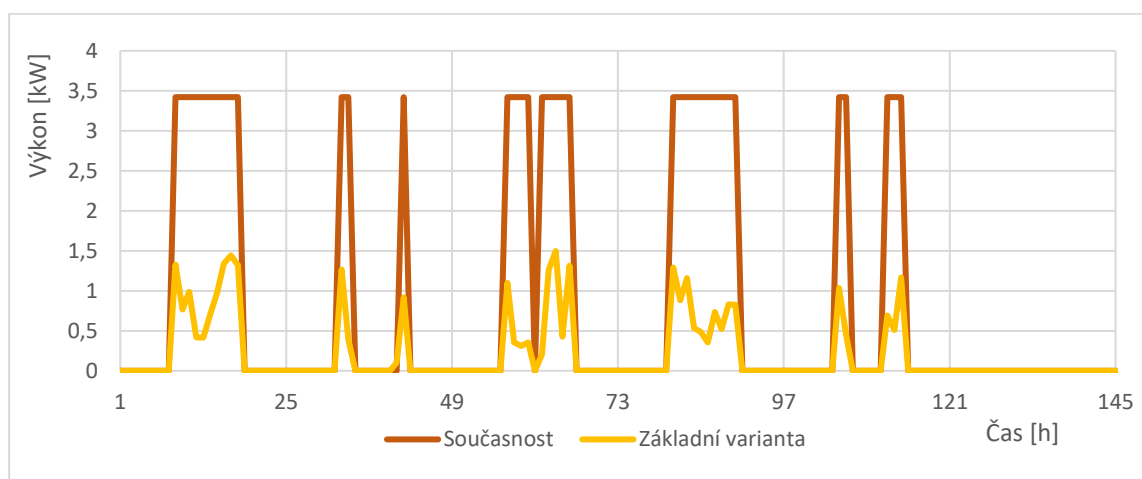
Otevírání oken se dá také použít k chlazení. Okna se otevřou, když je teplota v místnosti vyšší než venkovní a sníží tak potřebu chladit split jednotkami. To znamená, že se v místnostech sníží i vlhkost. Nevýhodou pak ale je, že se teplota v místnosti bude v průběhu dne měnit, kdy v letních měsících bude místnost ráno vychlazená noční teplotou a pak eventuálně stoupne až na 23°C , kdy se zapne chlazení.

4.3.3 Rozdíl oproti současnosti

V této části je popsán rozdíl mezi současným stavem a navrženými variantami. Také je v grafech zobrazeno jak se mění podmínky v interiéru a jak se vyvíjí spotřeba ve sledovaném období.

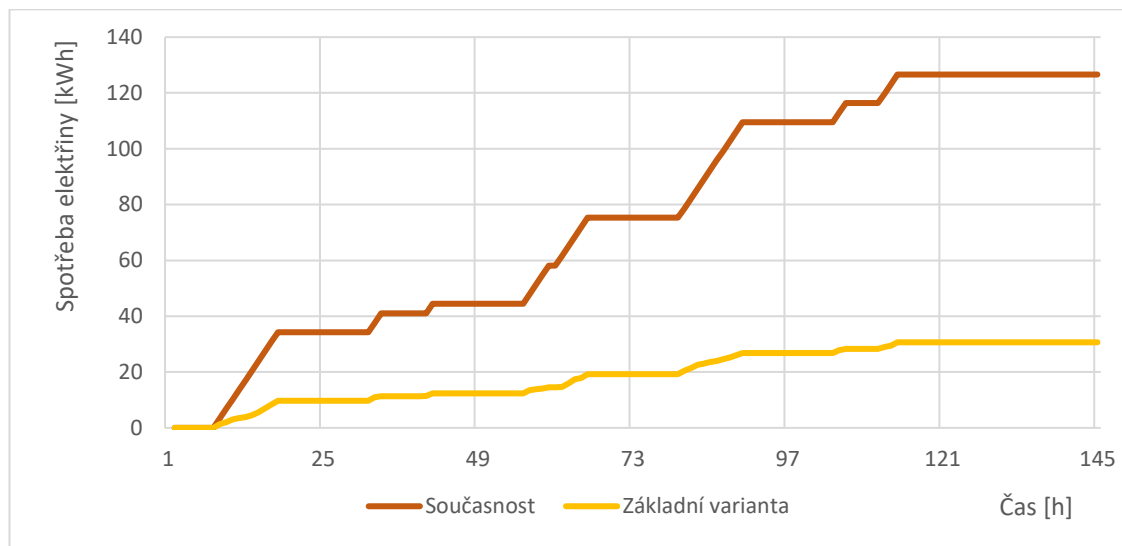
4.3.3.1 Osvětlení

Hlavní změnou v provozu osvětlení, pozorovanou na obrázku 4-5, je výměna stávajících zářivkových svítidel za úspornější LED trubice, které mají o téměř 50 % nižší výkon. Na obrázku je také vidět, že celkový počítaný výkon osvětlení 1862 W není využitý a osvětlení je provozováno v období od 19. do 25. května maximálně na 80% výkon.



Obrázek 4-5: Výkon osvětlení v období od 19. do 25. května včetně

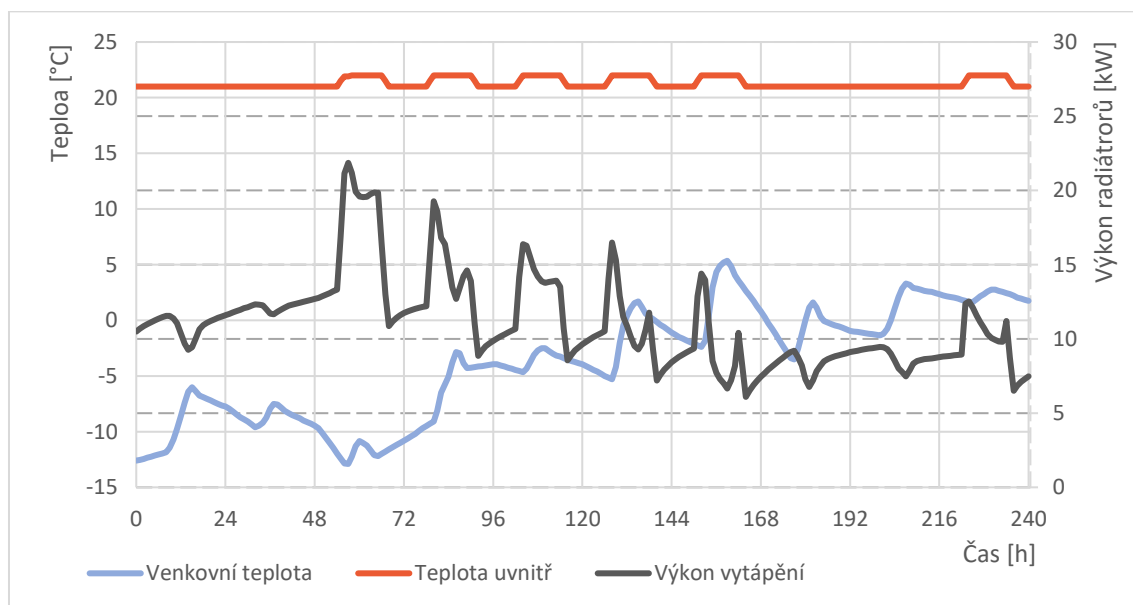
V simulaci je regulace světla zapnuta během celé pracovní doby. V praxi, když senzor nebude detekovat pohyb v místnosti, se světla budou vypínat a spotřeba elektřiny se ještě sníží. V modelu je spotřeba u navržené varianty ve sledovaném týdnu 32 kWh a u modelu současného stavu je čtyřnásobná. To při ceně elektřiny 2,55 Kč/kWh přináší úsporu 250 korun.



Obrázek 4-6: Spotřeba elektřiny za osvětlení od 19. do 25. května

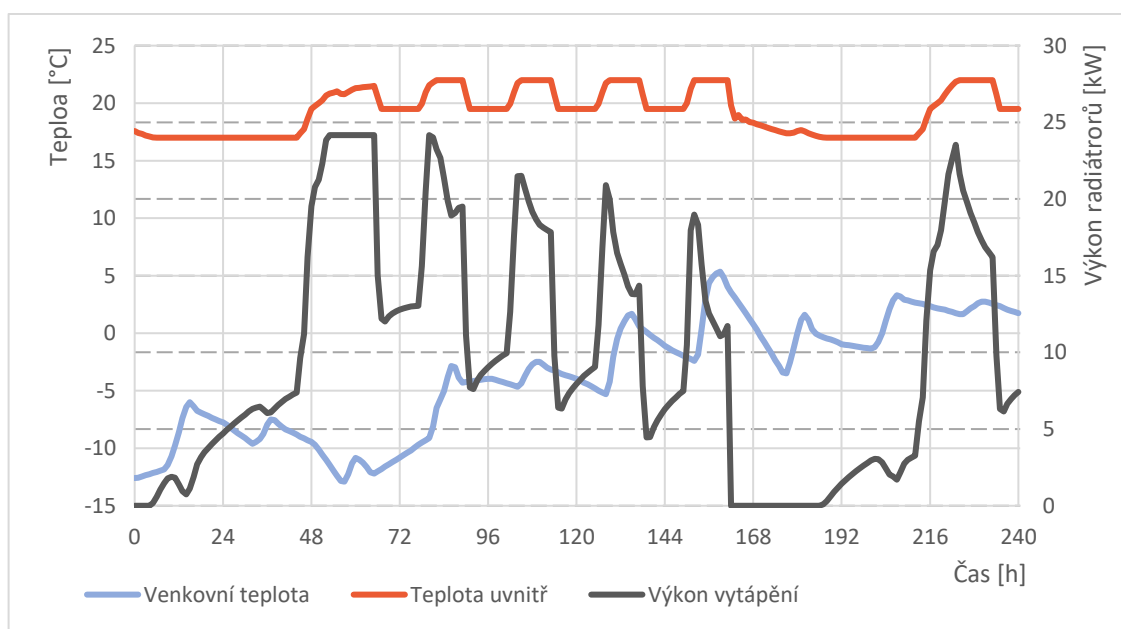
4.3.3.2 Vytápění

Pro srovnání provozu vytápění v současnosti a řešenými variantami je vybrán nejméně příznivý úsek, kdy vytápění přechází z útlumové teploty do komfortní když je venkovní teplota rovna $-13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (v modelu počasí pro Kuchařovice se jedná o jeden z nejméně příznivých dnů v roce). Výkon radiátorů je v simulovaném stavu současnosti dostatečný a jen se přibližuje maximálnímu možnému.



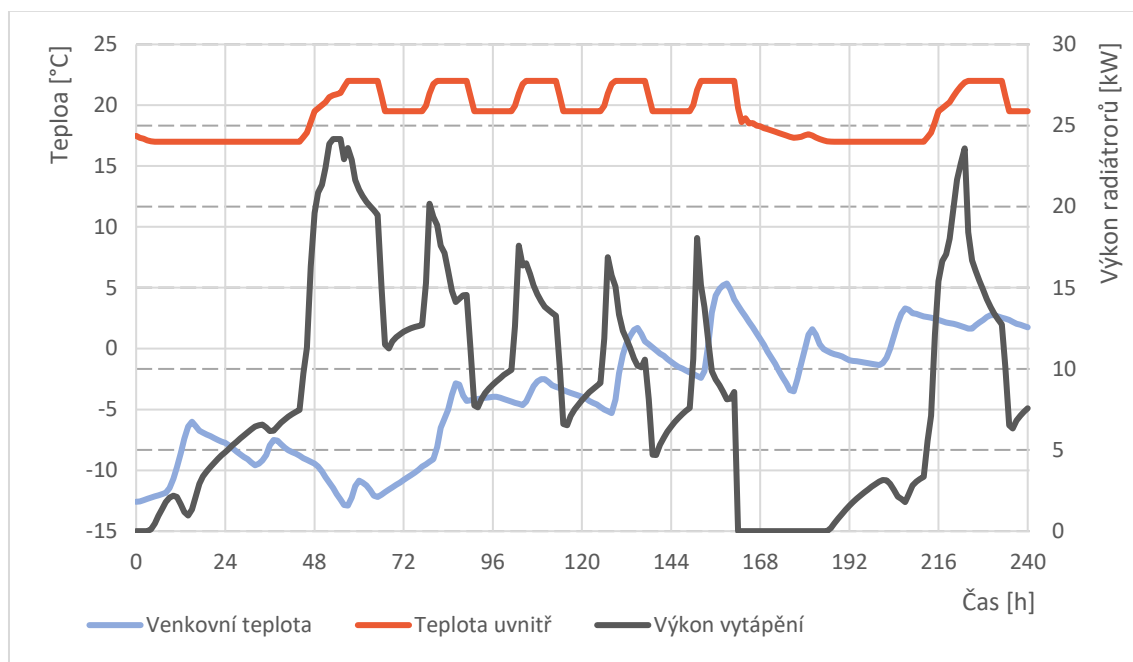
Obrázek 4-7: Průběh teplot a výkon radiátorů v simulaci pro model současného stavu od 13. do 23. ledna

Na obrázku 4-8 je simulován průběh vytápění pro základní variantu měření a regulace od 13. do 23. ledna. Zde se projevil nedostatečný výkon radiátorů a místnost není vytopena na komfortní teplotu. Pro simulaci s útlumovou víkendovou teplotou 17 °C byl navýšen výkon radiátorů o 8 % kvůli vyššímu rozdílu mezi teplotou v místnosti a střední teplotou tělesa. Ten i tak nestáčí a je využit v průběhu celé pracovní doby, než je teplota snížena na 19,5 °C. Výkon není dostatečný z více důvodů. Prvním je zvolená velmi nízká útlumová teplota přes víkend a velká tepelná kapacita konstrukce a druhým je snížení tepelných zisků kvůli výměně svítidel. V grafu je také vidět, že vytápění je zapnuto již od osmé hodiny v neděli večer, aby se nedostatku výkonu předcházelo. V tomto případě by se tak mělo začít vytápět ještě dříve. Tento proces je možné zautomatizovat pomocí IFTTT a když bude hlášena předpověď s nízkou teplotou v pondělní ráno, tak se vytápění zapne v neděli dříve. Pro případ nezakomponování předpovědi počasí do softwaru OpenHAB je potom nezbytné se spokojit s nižší komfortní teplotou okolo 21 °C, jaká je vidět na obrázku níže.



Obrázek 4-8: Průběh teplot a výkonu radiátorů pro model základní varianty od 13. do 23. ledna

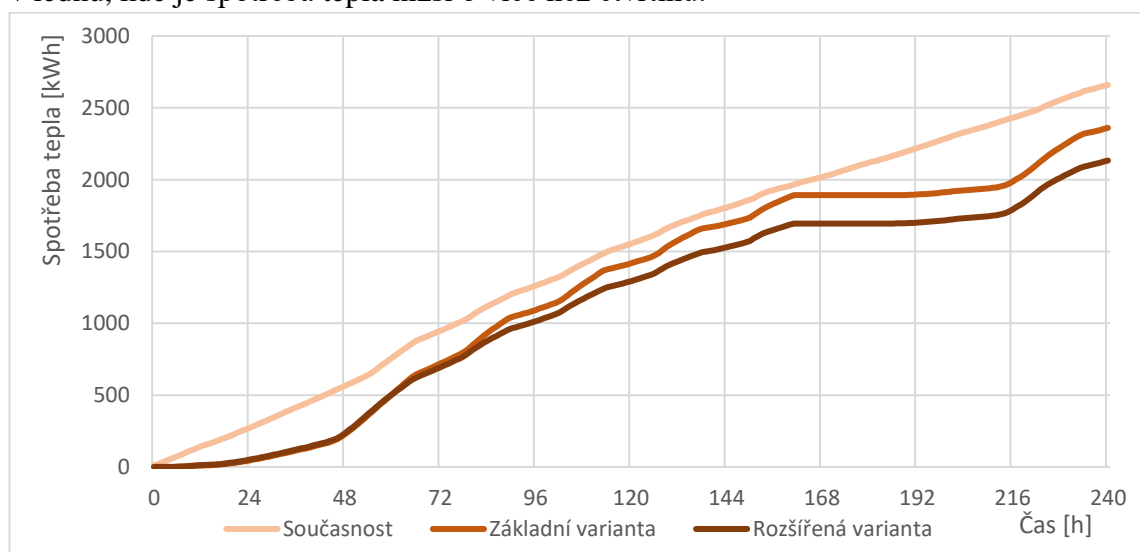
Při pohledu na obrázek 4-9 lze vidět, že výkon po většinu pondělí postačuje a v celém týdnu má nižší hodnoty než v předchozím případě. Je tomu tak z důvodu nižších tepelných ztrát větráním způsobených implementací senzoru CO₂. Na obrázku je i nepatrná pozitivní tepelná bilance při vypnutém vytápění o víkendu díky sluneční radiaci skrz okna.



Obrázek 4-9: Průběh teplot a výkonu radiátorů pro model rozšířené varianty od 13. do 23. ledna

V simulaci není zahrnuto pravděpodobné zvýšení přívodní teploty do otopných těles během chladných dní. To je u centrálního zásobování teplem běžné a výkon by mohl být i v těchto dnech a stejných časech vytápění dostatečný.

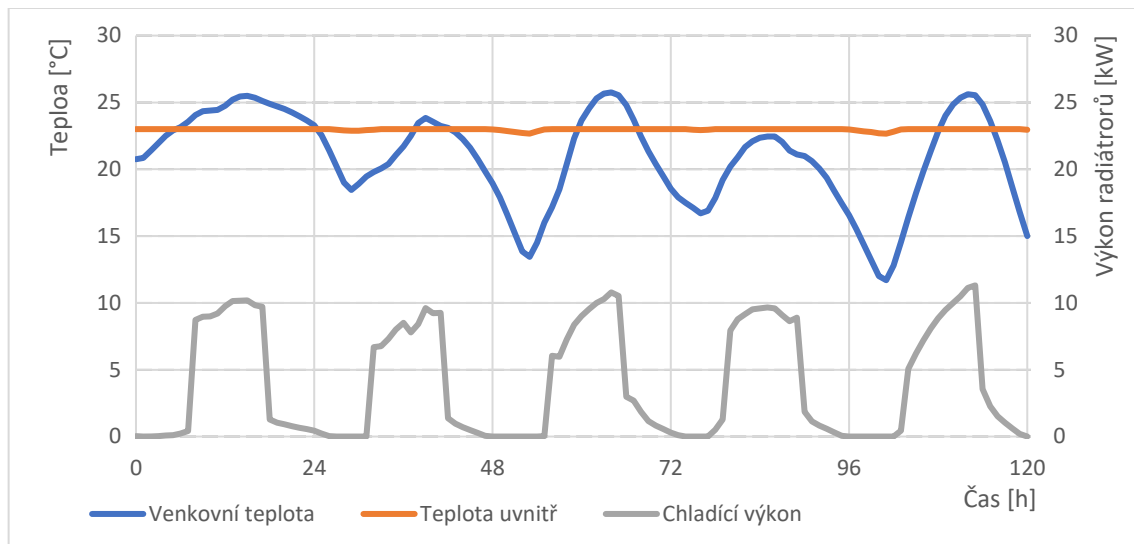
Spotřeba tepla s útlumovou teplotou 17 °C vychází ve sledovaném období o více než 10 % lépe. V grafu na obrázku 4-10 jdou vidět části, kdy byl výkon vytápění nulový a právě ty pomohly k celkovým úsporám oproti současnému řízení. V zimních měsících jsou proto úspory nejznatelnější. Pro rozšířenou variantu jsou úspory největší v lednu, kde je spotřeba tepla nižší o více než čtvrtinu.



Obrázek 4-10: Potřeba tepla dle simulovaných variant od 13. do 23. ledna

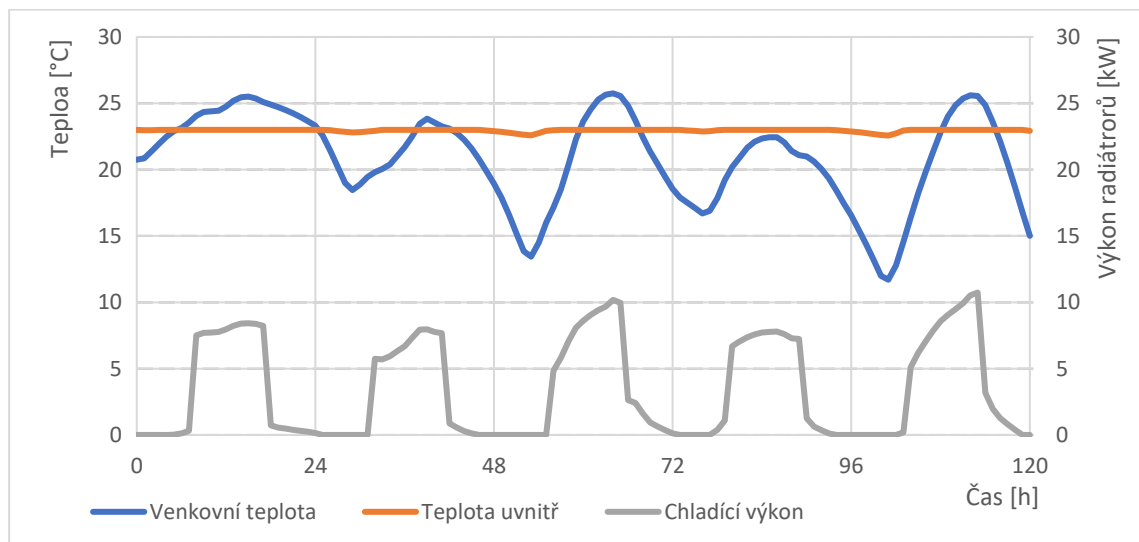
4.3.3.3 Chlazení

Pro model chlazení je vybráno období od 9. do 14. července, kdy je chlazení zapnuto pět po sobě jdoucích dnů a špičkový výkon se pohybuje okolo 10 kW, což je polovina maximálního možného. Na obrázku 4-11 není teplota v místnosti nižší než 22,5 °C a chlazení musí být zapnuto vždy, když se zvýší tepelné zisky na začátku pracovní doby.



Obrázek 4-11: Chlazení místnosti dle modelu současného stavu od 9. do 14. července

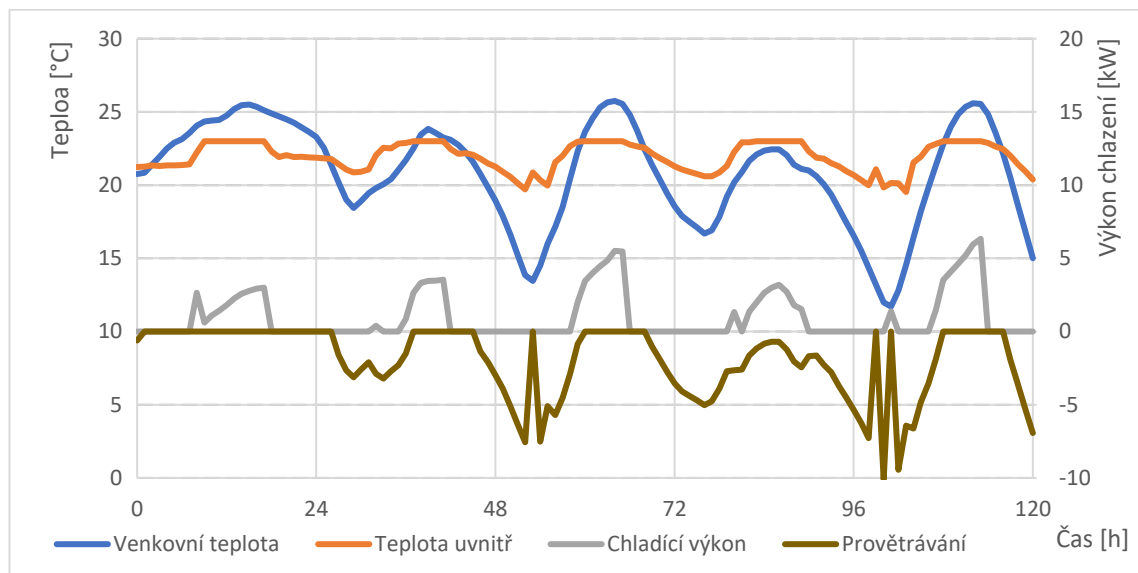
Obrázek 4-12 se výrazně neliší od předchozího. Rozdíl je akorát v nižším chladicím výkonu v pondělí, úterý a ve čtvrtek způsobeným nižšími tepelnými zisky od osvětlení. V praxi by se výkon mohl, hlavně v 5. patře, ještě o něco snížit díky vypínání vnitřních jednotek v době dovolených, kdy některé kanceláře zůstávají neobsazené.



Obrázek 4-12: Chlazení místnosti dle modelu základní varianty od 9. do 14. července

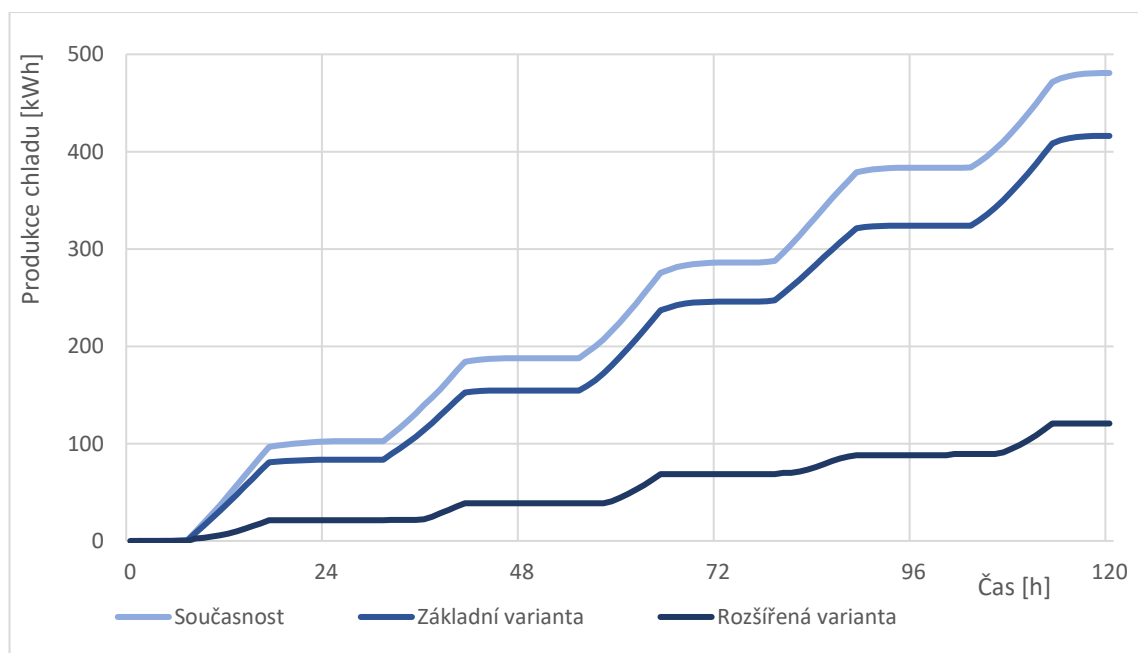
Na obrázku 4-13 je vidět výrazný přínos dálkového ovládání otevírání oken, kde je zobrazeno množství odvedeného tepla provětráváním v záporné části osy. To je v modelu spuštěno, když teplota v místnosti je vyšší než venkovní a zároveň není nižší než 19,5 °C. Ta by sice mohla být nastavena jako ještě nižší, to by ale vedlo ke snížení

tepelného komfortu v ranních hodinách. Teplota v pozorovaném období rychle stoupá a v 8 hodin ráno je vždy přes 21 °C. V měsíci červnu a září však teplota roste výrazně pomaleji a diskomfort by trval mnohem déle. Je tedy možné použít tento přístup pro zmíněné dva měsíce a v červenci a srpnu vychlazovat objekt na nižší teplotu a využít tak tepelnou kapacitu stěn na maximum.



Obrázek 4-13: Chlazení místnosti dle modelu rozšířené varianty od 9. do 14. července

Produkce chladu v rozšířené variantě je pouze 25% oproti současnému stavu. Při vychlazování na nižší teplotu 18 °C je také varianta, že by se split jednotky vyřadily úplně z provozu. V tom případě by teplota dle simulace dosáhla maximální hodnoty 23. července na 25,8 °C. Poté by byly pouze další 2 dny, kdy by teplota v místnosti překročila 25 °C. Tyto hodnoty však nejsou vysoké hlavně kvůli modelu počasí, který neobsahuje extrémně vysoké teploty, jež panují v posledních letech.



Obrázek 4-14: Potřeba chlazení jednotlivých variant od 9. do 14. července

4.4 Výpočet úspor navržených řešení a návratnosti investice

Hlavním faktorem při pořizování systému měření a regulace je jeho ekonomická výhodnost. V této části je proto porovnáno snížení provozních nákladů oproti současnému stavu a srovnání doby návratnosti investice. Jak základní tak rozšířená varianta obsahuje malé množství prvků, což se promítne do vyšší poměrné ceny programování k ceně instalovaných zařízení.

4.4.1 Základní varianta

V základní variantě jsou obsaženy investice nezbytné pro vznik sítě, jako je zprovoznění systému OpenHAB a vytvoření vzdáleného přístupu. To rozšířená varianta neobsahuje a je počítána pouze jako nadstavba základní varianty a ne jako samostatné řešení.

4.4.1.1 Počáteční investice

Základní varianta obsahuje 71 síťových zařízení plus je k ní připočtena výměna 88 kusů LED trubic, které představují 50 % z celkové ceny hardwaru. V tabulce 4-14 je také počítáno s náklady na instalaci zařízení. Ta je velice jednoduchá a rychlá, a proto je účtovaný 1 den za 4000 Kč. Velkou částí počáteční investice je programování a nakonfigurování celé sítě, aby každý člen fungoval správně a prováděl jisté kroky v závislosti na více proměnných. Pro něj je počítána částka 70 000 Kč a zabere přibližně 2 týdny. Poté ještě následuje přechodné období, kdy se celý systém ladí, trvající zpravidla jeden rok.

Tabulka 4-14: Počáteční investice pro základní variantu

	Cena
Síťová zařízení	36 000 Kč
LED osvětlení	35 200 Kč
Instalace	4 000 Kč
Programování	70 000 Kč
Celkové počáteční náklady	145 200 Kč

4.4.1.2 Provozní náklady

Největší část provozních nákladů představuje elektřina. Její spotřeba je sice snížena o výkon osvětlení a chlazení, spotřeba elektroniky se ale nemění a dle simulace se za provoz elektronického vybavení ročně utratí 43 605 Kč. Tato hodnota však může být snížena díky chytrým zásuvkám, které mohou odpojit počítače od napájení, a jejich spotřeba při vypnutém stavu bude nulová. S tímto základní ani rozšířený návrh nepočítá a spotřeba elektroniky je pro všechny varianty modelu stejná.

Velký rozdíl je v provozu osvětlení, kde došlo ke snížení ročních nákladů o 16 000 Kč. To je dáno snížením výkonu osvětlení a lepší regulací. Došlo také ke snížení spotřeby elektřiny na chlazení o 25 % související s výměnou osvětlení a tudíž nižšími vnitřními tepelnými zisky. Do provozních nákladů je ještě třeba připočíst výměnu baterií. Hlavice eQ-3 jsou napájeny dvěma AA bateriemi, které stojí okolo 10 Kč/kus.

Senzor pohybu Aqara má jednu baterii CR2450, jejíž cena je 40 Kč/kus. Počítána výměna je jednou ročně a tudíž náklady vzrostou o 1000 Kč/rok.

Tabulka 4-15: Provozní náklady pro základní variantu

Měsíc	Spotřeba tepla [kWh]	Elektřina - chlazení [kWh]	Elektřina - osvětlení [kWh]
1	7009,25	0,00	333,14
2	5504,15	0,00	222,91
3	4073,22	0,00	156,35
4	1680,97	0,00	87,08
5	548,20	100,59	60,42
6	0,00	265,61	55,87
7	0,00	485,57	47,85
8	0,00	405,47	67,12
9	130,66	89,73	109,01
10	1772,44	0,00	209,54
11	4537,18	0,00	308,85
12	6348,93	0,00	317,64
Spotřeba za rok [kWh]	31604,99	1346,96	1975,77
Spotřeba tepla za rok [GJ]	113,78		
Cena za MJ jednotku	464,00	2,55	2,55
Cena bez DPH [Kč]	52792,98	3434,75	5038,21

4.4.2 Rozšířená varianta

Rozšířená varianta obsahuje jenom 16 zařízení a je možné ji připojit k základní variantě i za delší časový úsek. To by zvýšilo náklady na programování a instalaci, protože programátor by se musel znovu s celou sítí seznámit a také ji trochu přepracovat. Pro výpočet vstupních nákladů je proto počítáno s instalací současně se základní variantou.

4.4.2.1 Počáteční investice

Počáteční náklady pro rozšířený návrh jsou 62 800 Kč. Ty jsou tak vysoké kvůli velmi drahým komponentám pro otevírání oken, které stojí 2500 Kč/kus. Také cena za programování je vysoká z důvodu neexistujícího bindingu. Pro instalaci je počítán jeden den, protože se jedná o instalaci 14 zařízení, která je možné k oknu pouze přilepit.

Tabulka 4-16: Počáteční investice pro rozšířenou variantu

	Cena
Sítová zařízení	38 800 Kč
Instalace	4 000 Kč
Programování	20 000 Kč
Celkové počáteční náklady	62 800 Kč

Jelikož rozšířená varianta není navržena jako samostatné řešení, je nutné počáteční investice základní a rozšířené varianty sečíst. Celková cena je tedy 208 000 Kč.

4.4.2.2 Provozní náklady

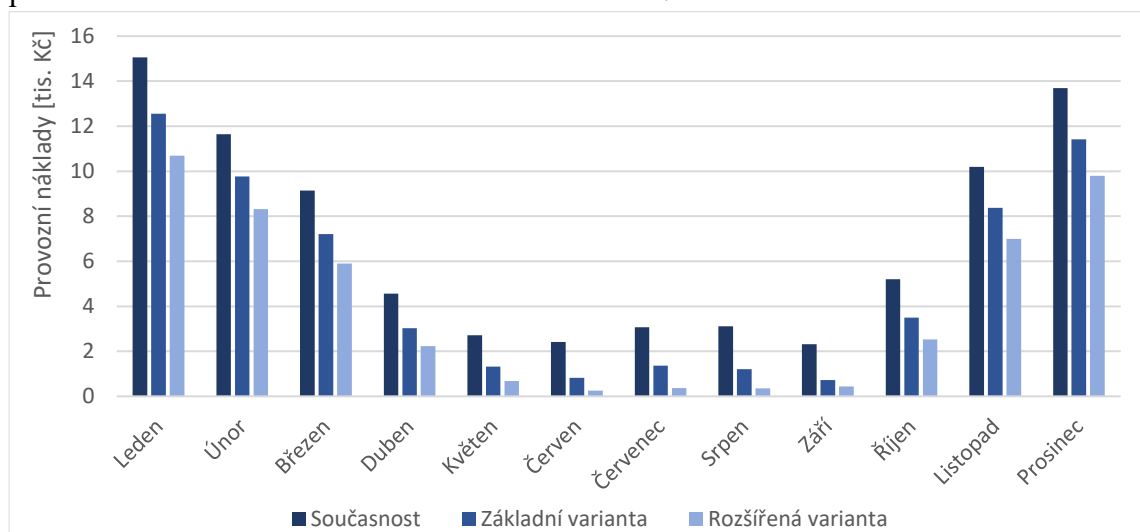
Náklady na vytápění jsou oproti současnému stavu o čtvrtinu nižší díky senzoru koncentrace CO₂. Roční útrata za chlazení je pouhých 589 Kč. Tomu dopomohlo provětrávání, převážně v nočních hodinách, a nižší zisky od osvětlení.

Tabulka 4-17: Provozní náklady pro rozšířenou variantu

Měsíc	Spotřeba tepla [kWh]	Elektřina - chlazení [kWh]	Elektřina - osvětlení [kWh]
1	5893,29	0,00	333,14
2	4638,01	0,00	222,91
3	3292,24	0,00	156,35
4	1205,86	0,00	87,08
5	307,62	6,36	60,42
6	0,00	44,55	55,87
7	0,00	94,03	47,85
8	0,00	71,45	67,12
9	72,23	14,46	109,01
10	1196,90	0,00	209,54
11	3717,37	0,00	308,85
12	5381,92	0,00	317,64
Spotřeba za rok [kWh]	25705,44	230,85	1975,77
Spotřeba tepla za rok [GJ]	92,54		
Cena za MJ jednotku	464,00	2,55	2,55
Cena bez DPH [Kč]	42938,37	588,66	5038,21

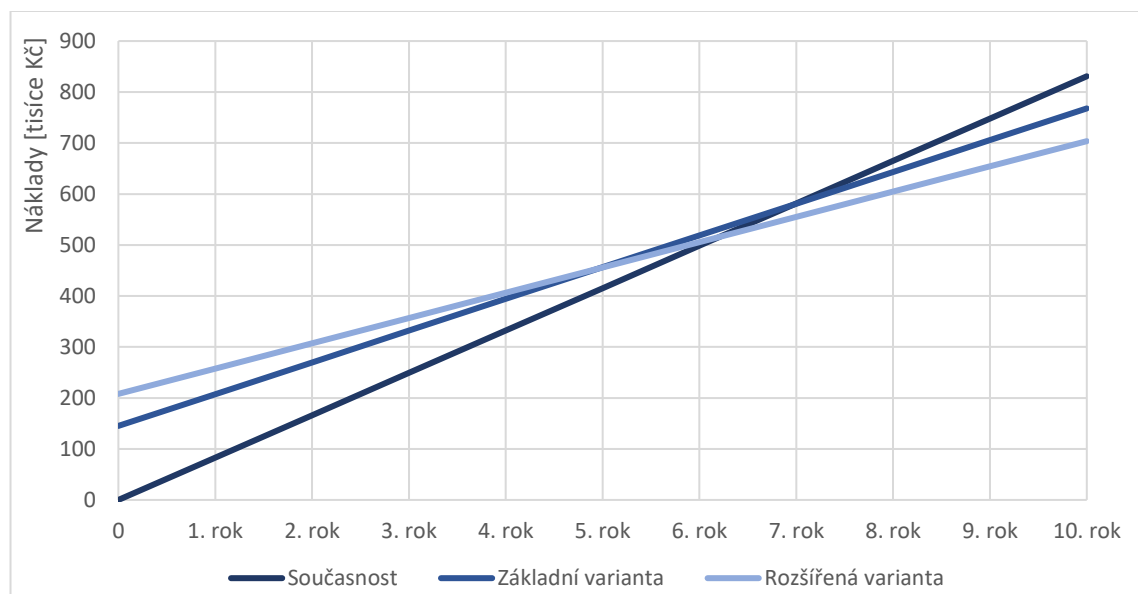
4.4.3 Srovnání variant

Na obrázku 4-15 je naznačen průběh provozních nákladů dle měsíců. K největší úsporám dochází v zimních měsících, kde jsou díky bezdrátové regulaci provozní náklady nižší téměř o 5000 Kč. V měsíci červnu je provoz sledovaných technologií desetkrát levnější při porovnání současného stavu s rozšířenou variantou.



Obrázek 4-15: Provozní náklady jednotlivých variant v průběhu roku

Na základě simulovaných hodnot v programu Trnsys je vypočtena návratnost navržených řešení. Ta se při pohledu na obrázek 4-16 pohybuje mezi šestým a sedmým rokem provozu pro obě počítané varianty. Při desetiletém provozu navrženého systému je úspora pro základní variantu 63 000 Kč a pro rozšířenou 127 000 Kč. Nejsou však započítány žádné náklady na údržbu a je počítáno pouze s roční výměnou baterií.



Obrázek 4-16: Návratnost navržených řešení

Vstupní hodnoty pro výpočet návratnosti jsou v tabulce 4-18.

Tabulka 4-18: Spočtené počáteční investice, roční náklady na řízení technologie a návratnost pro navržené varianty

	Současnost	Základní varianta	Rozšířená varianta
Počáteční investice	0 Kč	145 200 Kč	208 000 Kč
Provozní náklady za rok	83 089 Kč	62 266 Kč	49 565 Kč
Návratnost	-	6,9 let	6,2 let

Závěr

Závěrem této diplomové práce je zhodnocení a okomentování dosažených cílů. Těmi jsou návrh řízení technologií pro stávající objekt a posouzení přínosu takového řešení v kontextu ekonomiky, úspor a kvality vnitřního prostředí. Zvýšení kvality vnitřního prostředí spočívá ve snížení výkonu osvětlení na intenzitu vhodnou pro kancelářskou práci, čímž se zabrání přesvětlování místnosti a sníží se i spotřeba elektrické energie. Z hlediska vytápění je přínosem vstup do již vytopených místností, jejichž plán obsazení je možné nastavovat v kalendáři. Tato možnost tak přináší bonusové úspory, se kterými nebylo v programu Trnsys Simulation Studio počítáno. Kvalita vnitřního prostředí se také zvýší díky možnosti ovládat otevírání oken prostřednictvím elektromotoru. Při porovnání s chlazením pouze split jednotkami, se sníží vlhkost v místnosti v letních měsících zapříčiněné nočním provětráváním. V topné sezóně bude vlhkost naopak vyšší díky sníženému množství přiváděného vzduchu a lepší kontrole větrání zajištěné senzorem koncentrace CO₂. Komfort se ale také může v některých dnech snížit, kvůli omezenému výkonu radiátorů a zvolené velmi nízké víkendové útlumové teplotě 17 °C. Ta přináší v budově s touto tepelnou kapacitou úsporu na vytápění okolo 10 %, za cenu snížení tepelného komfortu ve dvou dnech v roce. Další úsporu přináší kontrolované větrání, jež sníží potřebu tepla o čtvrtinu.

K poměrově významnějšímu ušetření nákladu došlo v provozu osvětlení, kde je simulováno snížení spotřeby elektřiny za celý rok o více než 75 %, jež by se nemohlo stát bez výměny stávajících svítidel za stmívatelné LED trubice. To dopomohlo také ke snížení potřeby chlazení kvůli nižším tepelným ziskům. Chlazení by pro model počasí Kuchařovice nemuselo být vůbec obsaženo z důvodu vychlazování objektu v nočních hodinách na teplotu 19,5°C. V nejteplejších dnech by pak teplota uvnitř nepřesáhla 26 °C, což nepředstavuje významné snížení komfortu. Zmíněný model však obsahuje pouze čtyři tropické dny, kterých bylo v uplynulých letech mnohem více (v roce 2017 a 2018 jich bylo přes 30 [32]). To znamená, že v praxi by celková spotřeba elektřiny na chlazení byla vyšší a jeho vypnutí by vedlo k výraznější tepelné nepohodě.

Při použití dat z modelu základní varianty řešení vyšla návratnost počáteční investice (145 200 Kč) na 6,9 let. Pro rozšířenou variantu při počátečních nákladech 208 000 Kč na 6,2 roku. Je zde tedy možný problém se životností zařízení a to hlavně u zařízení na otevírání oken. Výrobce ale udává, že při testování, které je ekvivalentní pětiletému provozu, se neobjevila žádná mechanická závada či selhání elektroniky. Návratnost je možné ještě snížit použitím pouze dvou motoricky otevíraných oken na patře, čímž se zajistí snížení teploty provětráváním a kontrola koncentrace oxidu uhličitého bude záviset ne na elektronice, ale na uživatelích, což povede ke snížení komfortu zaměstnanců. Dále je možné použít chytré zásuvky pro odpojování počítačů od sítě po pracovní době, a zamezí se tak spotřebě ve stand-by režimu, jež sníží roční náklady o dalších 6 000 Kč. V simulaci navíc není započtena redukce nákladů způsobených kontrolou přítomnosti snímačem pohybu. Výsledná návratnost navržených řešení tak bude pravděpodobně nižší.

Seznam použitých zdrojů

- [1] *The Difference a Building Can Make* [online]. b.r. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: https://www.energystar.gov/ia/partners/publications/pubdocs/C+I_brochure.pdf?0b55-1475
- [2] Problematika automatizace budov a její řešení. *Automatizace budov* [online]. b.r. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://www.automatizacebudov.cz/>
- [3] BMS EXTENSIONS. *Adaptive wireless solutions* [online]. b.r. [cit. 2019-04-09]. Dostupné z: <http://adaptive-wireless.co.uk/bms-extensions/>
- [4] BAŠTA, Jiří a Karel HEMZAL. *REGULACE V TECHNICE PROSTŘEDÍ STAVEB*. 2009.
- [5] ALI MORIDI, Mohammad a Youhei KAWAMURA. *Performance analysis of ZigBee network topologies for underground space monitoring and communication systems* [online]. b.r. [cit. 2019-04-10]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/322173436_Performance_analysis_of_ZigBee_network_topologies_for_underground_space_monitoring_and_communication_systems
- [6] HILLMAN, Matt. *An Overview of ZigBee Networks: A guide for implementers and security testers*. b.r.
- [7] GISLASON, Drew. *Zigbee Wireless Networking*. 2007.
- [8] ANTHONY GRATTON, Dean. *The Handbook of Personal Area Networking Technologies and Protocols*. 2013. Cambridge University Press, b.r. ISBN 9780511979132.
- [9] CRANE, Joel. *ZigBee and WiFi Coexistence* [online]. b.r. [cit. 2019-04-11]. Dostupné z: <https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/203845040-ZigBee-and-WiFi-Coexistence>
- [10] Z/IP ZIPR Expands Z-Wave Networks to Thousands of Devices Over IP. *Automated Home* [online]. 2015 [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://www.automatedhome.co.uk/hardware/zip-zipr-expands-z-wave-networks-to-thousands-of-devices-over-ip.html>
- [11] *Z-Wave Alliance* [online]. b.r. [cit. 2019-04-16]. Dostupné z: <https://z-wavealliance.org/>
- [12] *EnOcean – The World of Energy Harvesting Wireless Technology* [online]. EnOcean, 2016 [cit. 2019-04-17].
- [13] *PTM 330 wireless switch module* [online]. White Paper, 2012 [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: https://www.enocean.com/en/enocean-modules/details/eco-200/White_Paper_PT33x_EN_05.pdf
- [14] Using local MQTT broker for cloud and interprocess communication. *PAGE FAULT BLOG* [online]. b.r. [cit. 2019-04-17]. Dostupné z: <https://pagefault.blog/2017/03/02/using-local-mqtt-broker-for-cloud-and-interprocess-communication/>

-
- [15] *Automatizace – Snímače teploty*. Integrovaná střední škola, Kumburská 846, Nová Paka, b.r.
- [16] MANSOUR, Samer. *Wireless Sensor Network-based Air Quality Monitoring System*. 2014.
- [17] HARMON, Dan. *Why Does Accuracy Matter So Much with an Ambient Light Sensor?* [online]. 2015 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.electronicdesign.com/optical/why-does-accuracy-matter-so-much-ambient-light-sensor>
- [18] *Osvětlení pracoviště ve vztahu k BOZP. Hygienické normy, doporučená intenzita, projektování*. In: . BOZP, 2011. Dostupné také z: <https://www.dokumentacebozp.cz/aktuality/osvetleni-pracoviste/>
- [19] PETROVÁ, Kateřina. *Osvětlení pracoviště* [online]. 2017 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/bozp/16590-osvetleni-pracoviste>
- [20] *Xiaomi Aquara* [online]. In: . b.r. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.xiaomimarket.cz/senzory/>
- [21] ZIKÁN, Zdeněk. *Oxid uhličitý - utajený nepřítel* [online]. b.r. [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/7132-oxid-uhlicity-utajeny-nepritel>
- [22] Měření oxidu uhličitého v budovách. *TZB.info* [online]. b.r. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://vetrani.tzb-info.cz/vnitri-prostredi/5827-pracujete-ve-zdravem-prostredi>
- [23] *Dálkově ovládaná klapka se servopohonem* [online]. b.r. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://products.alanmfg.com/viewitems/wireless-zone-control-systems/a80wldl-wireless-volume-damper-systems>
- [24] *EcoNet* [online]. b.r. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <http://www.econetsolutions.com/EV100.php>
- [25] MURESAN, Flori. *Ventilation System Comparison: Constant Air Volume (CAV) and Variable Air Volume (VAV)* [online]. b.r. [cit. 2019-04-26]. Dostupné z: <https://www.ny-engineers.com/blog/ventilation-system-comparison-cav-and-vav>
- [26] GIVONI, Baruch. *Passive and low energy cooling of buildings*. New York: Wiley, 1994. ISBN 978-0-471-28473-4.
- [27] *Health, Wellbeing & Productivity in Offices* [online]. World Green Building Council, b.r. [cit. 2019-04-28]. Dostupné z: <https://1url.cz/bMTlj>
- [28] *Multi-purpose Manager Installation*. Schneider Electric, 2016.
- [29] HEIMGAERTNER, Florian, Stefan HETTICH a Oliver KOHLBACHER. *Scaling Home Automation to Public Buildings: A Distributed Multiuser Setup for OpenHAB 2*. University of Tuebingen, Department of Computer Science, Tuebingen, Germany, b.r.
- [30] *OpenHAB Add-ons* [online]. b.r. [cit. 2019-05-14]. Dostupné z: <https://www.openhab.org/addons/>
-

- [31] VILCAN, Martin. *Computer's standby power consumption* [online]. b.r. [cit. 2019-05-17]. Dostupné z: <http://www.librador.com/2011/01/18/Computer's-Standby-Power-Consumption/>
- [32] Český hydrometeorologický ústav [online]. b.r. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data>
- [33] ŠÍMA, Jiří. *Noční chlazení budov v podmínkách České Republiky*. 2016. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov.

Seznam použitých zkratek

BMS	Systém řízení budov
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci
FFD	Zařízení s plnou funkcí
IFTT	Nástroj pro automatizaci a propojení internetových stránek se zařízeními
IR	Infračervené
ISM	Volné frekvenční pásmo pro průmysl, zdravotnictví a vědu
MJ	Množstevní jednotka
PIR	Pasivní infračervené
RFD	Zařízení s omezenou funkcí
VAV	Ventilace s proměnlivým množstvím vzduchu

Seznam použitých obrázků

Obrázek 1-1: Systém řízení budov (Building Management System) a řízené technologie. [EZS]- elektronický zabezpečovací systém, [EPS]- požární systém. [2]	17
Obrázek 1-2: Bezdrátová komunikace – Hvězda	18
Obrázek 1-3: Bezdrátová komunikace – Strom	18
Obrázek 1-4a: ZigBee přenos skrz mesh síť	20
Obrázek 1-5: Kanály wifi sítě a kanály ZigBee (červeně) na frekvenci 2,4 GHz [9]	20
Obrázek 1-6: Komunikace prostřednictvím MQTT [14]	22
Obrázek 2-1: Citlivost lidské oka a diody v závislosti na vlnové délce	24
Obrázek 2-2: Porovnání citlivosti lidského oka a senzoru OPT3001 [17]	24
Obrázek 2-3: Externí měřicí rozhraní od společnosti Develco	25
Obrázek 2-4a, b: ZigBee vypínač (vlevo) a stmívač (vpravo) [20]	28
Obrázek 2-5: Vyměnitelná výustka s bezdrátovým řízením [24]	30
Obrázek 2-6: Průběh teplot během experimentu využívající noční provětrávání [33]	31
Obrázek 2-7: Komunikace v systému OpenHAB pro větší počet zařízení	34
Obrázek 4-1a: Foto budovy – okolo roku 1910; 4-1b: Foto budovy – současnost	38
Obrázek 4-2: Schematický náčrt pátého patra	38
Obrázek 4-3: Schematický náčrt šestého patra	39
Obrázek 4-4: Spotřeba energií v jednotlivých měsících dle modelu současného stavu ...	46
Obrázek 4-5: Výkon osvětlení v období od 19. do 25. května včetně	51
Obrázek 4-6: Spotřeba elektřiny za osvětlení od 19. do 25. května	52
Obrázek 4-7: Průběh teplot a výkon radiátorů v simulaci pro model současného stavu od 13. do 23. ledna	52
Obrázek 4-8: Průběh teplot a výkonu radiátorů pro model základní varianty od 13. do 23. ledna	53
Obrázek 4-9: Průběh teplot a výkonu radiátorů pro model rozšířené varianty od 13. do 23. ledna	54
Obrázek 4-10: Potřeba tepla dle simulovaných variant od 13. do 23. ledna	54
Obrázek 4-11: Chlazení místnosti dle modelu současného stavu od 9. do 14. července ..	55
Obrázek 4-12: Chlazení místnosti dle modelu základní varianty od 9. do 14. července ..	55
Obrázek 4-13: Chlazení místnosti dle modelu rozšířené varianty od 9. do 14. července ..	56
Obrázek 4-14: Potřeba chlazení jednotlivých variant od 9. do 14. července	56
Obrázek 4-15: Provozní náklady jednotlivých variant v průběhu roku	59
Obrázek 4-16: Návratnost navržených řešení	60

Seznam použitých tabulek

Tabulka 2-1: Doporučené hodnoty intenzity osvětlení pro různé činnosti [19].....	27
Tabulka 2-2: Účinky CO ₂ na lidský organismus [21]	29
Tabulka 3-1: Seznam zařízení pro modelový návrh.....	37
Tabulka 4-1: Vnitřní tepelné zisky od lidí a elektroniky	39
Tabulka 4-2: Seznam typů osvětlení a jejich výkon	40
Tabulka 4-3: Seznam oken v objektu	40
Tabulka 4-4: Typy stavebních materiálů v objektu.....	41
Tabulka 4-5: Výkon radiátoru	41
Tabulka 4-6: Parametry split systému	42
Tabulka 4-7: Spotřeba elektřiny v průběhu roku	43
Tabulka 4-8: Cena za teplo v průběhu roku	43
Tabulka 4-9: Spotřeba energií dle simulace programu Trnsys s rozdílným modelem spotřeby elektrické energie od současného stavu.....	44
Tabulka 4-10: Spotřeba energií dle simulace programu Transys s modelem odpovídajícím aktuální spotřebě energií	45
Tabulka 4-11: Seznam zařízení pro základní variantu	48
Tabulka 4-12: Výkon nahrazeného osvětlení	49
Tabulka 4-13: Seznam zařízení pro rozšířenou variantu.....	50
Tabulka 4-14: Počáteční investice pro základní variantu.....	57
Tabulka 4-15: Provozní náklady pro základní variantu	58
Tabulka 4-16: Počáteční investice pro rozšířenou variantu	58
Tabulka 4-17: Provozní náklady pro rozšířenou variantu	59
Tabulka 4-18: Spočtené počáteční investice, roční náklady na řízené technologie a návratnost pro navržené varianty	60

Seznam příloh

Příloha 1: Topologie modelového návrhu budovy.....	I
Příloha 2: Topologie základního a rozšířeného návrhu.....	II
Příloha 3: Simulace v programu Trnsys.....	CD
Příloha 4: Data ze simulace	CD